

Analisis Penjadwalan Perawatan Transformator Daya

by Zulfatri Aini

Submission date: 29-Jun-2021 10:44AM (UTC+0700)

Submission ID: 1613589907

File name: PROSIDING_EECCIS_2014_SESI_NASIONAL_1.pdf (50.74M)

Word count: 85458

Character count: 507037

**Seminar Nasional – Tenaga Listrik, Elektronika,
Telekomunikasi, Kontrol dan Informatika – 2014**

Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics
International Seminar (EECCIS) 2014



Convention Hall Prof. Ir. Surjono, Fakultas Teknik,
Universitas Brawijaya
Malang, 27-28 Agustus 2014

Prosiding Sesi Nasional

² Diterbitkan oleh:
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Indonesia

DIPUBLIKASIKAN OLEH:

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
eeccis2014@gmail.com
telepon: +62-341-554166
faksimil: +62-341-551430

KETUA EDITOR

Waru Djuriatno

ANGGOTA

M. Ilham Akbar
Edinar V. H.
Try Brojoseto A.
Gezadio Dhuha S.
Firman Adendro

Semua paper dalam buku ini telah diseleksi oleh *reviewer* dan *technical committee*. Semua penulis telah menandatangani hak cipta penerbitan paper. Dilarang mereproduksi, mendownload, mencuplik, mempublikasikan, memindahkan, ke dalam bentuk lain dengan tujuan tertentu, kecuali dengan izin penulis dan menunjukkan kontribusinya kepada penulis.

Pihak penerbit tidak menambah atau mengurangi isi yang ada pada buku ini dan tidak bertanggung jawab atas kesalahan yang ada pada buku ini

ORGANIZING INSTITUTION

ADVISORY BOARD COMMITTEE

Mohammad Bisri (UB, Indonesia)
Sholeh Hadi Pramono (UB, Indonesia)
Mohd Noh Bin Dalimin (UTHM, Malaysia)
Zainal Abidin bin Ahmad (UTHM, Malaysia)

TECHNICAL PROGRAM COMMITTEE

- Kuncoro Wastuwibowo (IEEE Indonesia Section)
- Ary Murty (IEEE-Indonesia Section)
- I Wayan Mustika (IEEE-Indonesia Section)
- Sholeh Hadi Pramono (UB, Indonesia)
- Harry Soekotjo Dahlan (UB, Indonesia)
- Wijono (UB, Indonesia)
- Muhammad Aziz Muslim (UB, Indonesia)
- Hadi Suyono (UB, Indonesia)
- Rini Nurhasanah (UB, Indonesia)
- Erni Yudaningtias (UB, Indonesia)
- Rahmadwati (UB, Indonesia)
- Onny Setyawati (UB, Indonesia)
- Herman Tolle (UB, Indonesia)
- Achmad Basuki (UB, Indonesia)
- Agus Naba (UB, Indonesia)
- Purnomo Budi Santoso (UB, Indonesia)
- M. Sarosa (Polinema, Indonesia)
- Muladi (UM, Indonesia)
- Wahyu Mulyo Utomo (UTHM, Malaysia)
- Mohammad Faiz Liew Abdullah (UTHM, Malaysia)
- Rahisham bin Abd. Rahman (UTHM, Malaysia)
- Mochammad Rusli (Wollongong Univ, Australia)
- Panca Mudjirahardjo (KIT, Japan)
- Zainul Abidin (Miyazaki Univ, Japan)
- Angger Abdul Razak (Miyazaki Univ., Japan)
- Mauridhi Hery Purnomo (ITS, Indonesia)
- Mochamad Ashari (ITS, Indonesia)
- Adi Soeprijanto (ITS, Indonesia)
- Adhi Susanto (UGM, Indonesia)
- Risanuri (UGM, Indonesia)
- Basari (UI, Indonesia)
- Umar Khayam (ITB, Indonesia)
- Aris Triwiyatno (UNDIP, Indonesia)
- Mohammad Zarar Mohd Jenu (UTHM, Malaysia)
- Rosli bin Omar (UTHM, Malaysia)
- Jais Lias (UTHM, Malaysia)
- Mohd Zainizan Sahdan (UTHM, Malaysia)
- Fauziahanim Che Seman (UTHM, Malaysia)
- Muhammad Saufi Kamarudin (UTHM, Malaysia)
- Nur Hanis Mohammad Radzi (UTHM, Malaysia)
- Muhd Mahadi Abd Jamil (UTHM, Malaysia)
- Mohd Razali Tomari (UTHM, Malaysia)
- Maizlinda Izwana Idris (UTHM, Malaysia)
- Abd Kadir Mahamad (UTHM, Malaysia)
- Ayob Johari (UTHM, Malaysia)
- Mashury Wahab (LIPI, Indonesia)
- Tri Nurwati (UB, Indonesia)
- Roni Seto Wibowo (ITS, Indonesia)
- Gamantyo Hendrantoro (ITS, Indonesia)
- Dedet Candrariawan (ITS, Indonesia)
- Tinton Dwi Atmaja (LIPI, Indonesia)
- Hasan Nouri (UWE, UK)
- Taufik (Calpoly, US)
- Hiroki Tamura (UoM, Miyazaki, Japan)

SEMINAR PROGRAM

WEDNESDAY, AUGUST 27, 2014

**CONVENTION HALL PROF. IR. SURJONO,
FACULTY OF ENGINEERING, BRAWIJAYA UNIVERSITY**

- | | |
|---------------|---|
| 07.00 - 08.30 | REGISTRATION |
| 08.30 - 09.00 | OPENING CEREMONY |
| 09.00 - 09.10 | SPEECH BY CHAIRMAN OF THE ORGANIZING COMMITTEE |
| 09.10 - 09.30 | WELCOME SPEECH BY THE RECTOR OF BRAWIJAYA UNIVERSITY |
| 09.30 - 09.45 | DONATION FROM PT. ASTRA HONDA MOTOR FOR RESEARCH PURPOSES AT THE FACULTY OF ENGINEERING |
| 09.45 - 10.00 | BREAK |
| 10.00 - 11.00 | KEYNOTE SPEECH 1: DR. IR. PROF. DR. MOHD NOH BIN DALIMIN (RECTOR of UNIVERSITI TUN HUSSEIN ONN MALAYSIA – UTHM) |
| 11.00 - 12.00 | KEYNOTE SPEECH 2: PROF. DR. IR. EKO TJIPTO RAHARJO (UNIVERSITY OF INDONESIA – UI) |
| 12.00 - 13.00 | BREAK: PRAYING AND LUNCH |
| 13.00 - 17.25 | COMMISSION SEMINAR: ORAL PRESENTATION |
| 17.25 | CLOSING |

SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Atas nama Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, saya ingin menyampaikan ungkapan rasa penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para dosen, mahasiswa serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas keterlibatan mereka demi berhasilnya acara Seminar EECCIS 2014 ini.

Secara khusus saya sampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Raharjo dan Prof. Dato'. Dr. Mohd Noh bin Dalimin atas kesediaannya untuk memberikan *keynote-speech* dalam acara Seminar EECCIS 2014 ini.

Seminar EECCIS 2014 merupakan kelanjutan dari seminar-seminar EECCIS sebelumnya yang telah sukses dilaksanakan pada tahun 2000, 2004, 2006, 2008, 2010 dan 2012. Acara seminar ini menjadi bagian dari program kegiatan ilmiah di Fakultas Teknik dalam rangka ikut membantu terwujudnya Universitas Brawijaya sebagai suatu *research university*, yang selanjutnya untuk menjadi *entrepreneurial university*.

Sebagai bagian dari Universitas Brawijaya, sivitas akademika Fakultas Teknik mempunyai peran yang sangat aktif dan strategis dalam menciptakan ikatan yang erat dengan industri dan masyarakat secara umum. Diharapkan agar melalui Seminar EECCIS 2014 ikatan yang kuat tersebut dapat dipertahankan dan lebih dikembangkan baik secara nasional maupun internasional, sehingga budaya ilmiah di lembaga-lembaga riset dan pendidikan serta hubungannya dengan industri dapat menghasilkan kemakmuran dan kesejahteraan masyarakat Indonesia dan umat manusia seluruhnya.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

**Dekan Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya**

Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, M.T.

SAMBUTAN KETUA PANITIA

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

10
Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena hanya atas berkat, rahmat dan karunia-Nya jua-lah seminar EECCIS 2014 ini dapat terselenggara pada hari ini, 27 Agustus 2014, di Convention Hall Prof. Ir. Surjono Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang sangat kita cintai ini. EECCIS, yang merupakan kependekan dari *Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar*, merupakan kegiatan ilmiah rutin yang diselenggarakan setiap dua tahun sekali oleh Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Tema EECCIS 2014 adalah **Developing The Green Technology: Challenge and Opportunity**.

Seminar ini diharapkan dapat menjadi forum diskusi ilmiah antar disiplin ilmu yang tercakup dalam bidang keilmuan Teknik Elektro, antara lain Energi Elektrik, Elektronika, Telekomunikasi, Kontrol dan Teknologi Informasi. Di tengah situasi krisis energi dan ekonomi yang masih melanda negeri ini, diharapkan kerja keras para peneliti dari berbagai universitas dan lembaga riset serta industri dapat menghasilkan sumbangan yang sangat berarti untuk pemulihan negeri dari kondisi krisis. Dinamika akademik dan industri dalam usaha pemulihan ini dapat terlihat dari besarnya animo mereka untuk berperan serta dalam seminar EECCIS 2014 ini.

EECCIS 2014 ini merupakan *joint conference* yang pertama antara UB dan UTHM dimana diharapkan adanya *research collaboration* antara UB dan UTHM.

Komite Program Teknik EECCIS 2014 telah berupaya keras untuk melakukan tugasnya dengan baik. Hal ini terlihat dari banyaknya artikel ilmiah yang telah kami terima. Ada sejumlah 108 artikel yang kami terima dari berbagai negara termasuk Indonesia, Malaysia, China dan Jaipur. Terdapat dua sesi yaitu internasional dan nasional. Untuk sesi internasional terdapat 53 artikel dan untuk nasional 55 artikel. Setelah melalui proses penilaian yang cukup ketat oleh tim *reviewer* kami yang berasal dari beberapa negara, antara lain Amerika, UK, Malaysia, Jepang, dan Indonesia sendiri. Untuk artikel internasional hanya sekitar 49% dan untuk artikel nasional sekitar 53% dari keseluruhan paper yang akhirnya dinilai layak untuk disajikan dalam serangkaian sesi presentasi yang diadakan selama seminar berlangsung. Selanjutnya akan didokumentasikan dan diterbitkan dalam IEEE *Proceedings* dalam bentuk CD untuk artikel internasional dan untuk artikel nasional diterbitkan pada *Proceedings of EECCIS 2014*.

Akhirul kalam, saya ucapkan terima kasih dan selamat datang kepada semua peneliti, dosen, mahasiswa, pihak industri, serta seluruh peserta seminar EECCIS 2014 ini. Kami akui bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyelenggaraan acara ini, namun begitu kami selalu berharap adanya saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Ketua Panitia EECCIS 2014

Rahmadwati, ST., MT., Ph.D

TABLE OF CONTENT

Cover	i
Organizing Institution	iii
Seminar Program	iv
Sambutan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Bawijaya	v
Sambutan Ketua Panitia	vi
Table of Content	vii

A. ELECTRICAL POWER

Analisis Optimasi Penempatan Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) dengan Metode Particle Swarm Optimization (PSO) <i>Hadi Suyono, Rini Nur Hasanah, Paramita Dwi Putri Pranyata</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya	A1-1
Analisis Penjadwalan Perawatan Transformator Daya <i>Zulfatri</i> Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau	A2-1
Deteksi Dini Kondisi Minyak Trafo dalam Keadaan Bertegangan Melalui Citra Termal Berbasis Transformasi Wavelet dan Neural Network <i>Hardi Widyanto, Mauridhi Hery Purnomo and Margo Pujiantara</i> Teknik Elektro ITS, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)	A3-1
Distribusi Probabilitas Tembus Susunan Elektroda Sela Bola Sebagai Pembatas Tegangan Lebih Pada Peralatan Listrik Tegangan Rendah <i>Maria Bertha Melsadalam, Daud Obed Bekak, Moch. Dhofir</i> teknik Negeri Ambon, Politeknik Negeri Kupang, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya	A4-1
Pengaruh Harmonisa Beban Nonlinier Rumah Tangga Terhadap Hasil Penunjukan kWh Meter Digital 1 Fasa <i>Soemarwanto, Soeprapto, Arfinna Cahyani</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya	A5-1
Pengendalian Frekuensi Pemban Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis ANFIS <i>Wahyudiyono, Ardyono Priyadi, and Mauridhi Hery Purnomo</i> Teknik Elektro ITS, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)	A6-1
Perancangan Bohlam LED DC dengan Regulator LT3590 untuk Sistem Rumah DC <i>Soeprapto, Rini Nur Hasanah, Mahfudz Siddiq, Yosi Dwi Handari</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya	A7-1
Rancang Bangun Inverter Tiga Fasa Menggunakan Metode Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) untuk Mengatur Putaran Motor Induksi Tiga Fasa <i>Desta Wahyu Diantoro, M. Zaenal Efendi, Eka Prasetyono</i> D4 Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya	A8-1
Simulasi Aplikasi MPPT (Maximum Power Point Tracker)-FLC (Fuzzy Logic Control) pada Sistem Stand-alone Photovoltaic <i>Harmini and Titik Nurhayati</i> Jurusan Teknik Elektro USM, USM, Semarang	A9-1

B. ELECTRONICS

Desain Sistem Presensi Elektronik RFID Terintegrasi dengan Sistem Informasi Akademik UB <i>Raden Arief Setyawan, Akhmad Zainuri, Eka Maulana, Nanang Sulistyanto</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya	B1-1
Implementasi Headlight LED pada Sepeda Motor HONDA <i>Edwin Sholeh R, Yoga Gapaiasa</i> Product Quality Engineering Division, PT. Astra Honda Motor, Jakarta	B2-1
Microcontroller sebagai Pemroses Sinyal Digital untuk Ekstraksi Ciri Sinyal EMG <i>Triwiyanto</i> Jurusan Teknik Elektromedik, Politeknik Kesehatan, Surabaya	B3-1
Pemodelan MUX/DEMUX 8 Bit dengan Teknologi High Speed CMOS <i>Erny Anugrahany, M. Julius, Onny Setyawati</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya	B4-1
Pendeteksi Keaslian Madu dengan Metode Pengukuran pH, Kadar Air, dan Pembiasan Cahaya <i>Nurussa'adah, Abdul Rozaq Syamsuddin, Agung Handoko, M. Ainun Azhar, Suraduita Mupasanta, Arini Sugiarti</i> Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya	B5-1

Rancang Bangun Canting Elektronik dengan Keluaran Lilin Terkontrol <i>Adam Ainun Akbar, Djoko Purwanto</i> Teknik Elektro ITS, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)	B6-1
Sistem Instrumentasi Sinyal Phonocardiography untuk Analisa Dinamika Jantung <i>Eko Agus Suprayitno, Izza Anshory</i> Bidang Keahlian Teknik Elektronika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Sidoarjo	B7-1

C. COMMUNICATIONS

Analisa Kinerja Zero Forcing dengan Multiple Input Multiple Output (MIMO) pada Jaringan Sensor Nirkabel <i>Ari Endang Jayati, M. Sipan, Sri Heranurweni</i> Teknik Elektro, Universitas Semarang, Semarang	C1-1
Aplikasi Wireless Sensor Network (WSN) Sebagai Sistem Monitoring Cuaca Berbasis WEB <i>Sumantri K.Risandriya, Safrizal</i> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam	C2-1
Desain Video on Demand (VOD) Menggunakan High Speed Downlink Packet Data Acces (HSDPA) di Wilayah Urban Kota Malang <i>Wahyu Adi Priyono, Calvin Winata Marpaung, Rusmi Ambarwati</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya	C3-1
Disain dan Analisis Performansi Half Rate Pada Komunikasi Wireless Untuk Optimasi Jaringan Menggunakan Net Auto Care (NAC) <i>Asri Wulandari, Mohamad Fathurahman</i> Program Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Depok	C4-1
IMPLEMENTASI JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST) UNTUK PREDIKTOR DAYA PANCAR PADA SISTEM KOMUNIKASI BERGERAK SELULAR DIRECT SEQUENCE/CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (SKBS DS/CDMA) <i>Sigit Kusmariyanto</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya	C5-1
Kajian awal Implementasi Stasiun ALE Riau Untuk Mendukung Informasi Antar Stasiun ALE Nasional <i>Sutoyo</i> Laboratorium Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro UIN SUSKA Riau, Pekanbaru	C6-1
Model Pengolahan Data Propagasi Komunikasi Radio HF Hasil Pengamatan Jaringan Stasiun ALE (Automatic Link Establishment) Lapan <i>Varuliantor Dear, Rahma Laila Qodriah, Almas Shaffina Maulidha</i> Pusat Sains Antariksa LAPAN, Politeknik Negeri Malang	C7-1

D. CONTROLS

Aplikasi Programmable Logic Controller (PLC) pada Prototipe Robot Pemindah Bushing <i>Djulil Amri and Bhakti Yudho Suprpto</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang	D1-1
Monitoring Pengendalian pH Pada Sistem Penjernihan Air Menggunakan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) <i>Ike Bayusari, Oky Rahmadhanie, Ridho Irawan, Bhakti Yudho. S</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Indralaya	D2-1
Simulasi Kontrol Bilateral 1 DOF Haptic Manipulator Berbasis Reaction Force Observer <i>Vita Permatasari, Djoko Purwanto, Tri Arief Sardjono</i> Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya	D3-1

E. INFORMATICS

A Study on Hepatitis-B Phases Diagnosing Disease Using Logical Inference And Data Mining <i>Giri Wahyu Wirianto, I Putu Aditya Wiguna, Indira Puteri Kinasih</i> Electrical Engineering, Medical Faculty Dept., Mataram University, Mataram, Math Education and Natural Science, IKIP Mataram, Mataram	E1-1
Aplikasi Fraktal menggunakan Iterated Function Systems pada Perangkat Bergerak <i>Yonathan Ferry Hendrawan</i> Program Studi Teknik Informatika, Universitas Trunojoyo Madura, Bangkalan	E2-1

Implementasi Pemrosesan Paralel pada Permainan Catur di Cluster Beowulf <i>Indra Haris Syaifullah, Waru Djuriatno, Muhammad Aswin</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya	E3-1
Penilaian Komposisi Rule of Thirds Berdasarkan Centroid Suatu Subject pada Citra Foto <i>Tomi Putro Utomo, Adharul Muttaqin, Muhammad Aswin</i> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya	E4-1
Predator Movement Using D* Lite Based Pathfinding Algorithm For Dynamic Preys <i>Moch. Kholil, Moch. Hariadi, Supeno Mardi Susiki Nugroho</i> Faculty of Industrial Technology, Institute Technology Of Sepuluh Nopember, Surabaya	E5-1

Electrical Power

Analisis Optimasi Penempatan *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC) dengan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Hadi Suyono, Rini Nur Hasanah, ²aramita Dwi Putri Pranyata

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya
Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Abstrak—Kebutuhan beban sistem daya listrik semakin hari semakin bertambah dengan meningkatnya kebutuhan hidup manusia. Semakin baik taraf hidup suatu negara maka akan menyebabkan kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat. Karena itu, meningkatnya kebutuhan beban ini perlu diimbangi dengan penyediaan sumber-sumber energi baru. Peningkatan beban dengan tanpa diiringi suplai sumber yang mencukupi akan mempengaruhi performa sistem daya listrik tersebut. Penurunan kualitas tegangan dan frekuensi akan terjadi apabila peningkatan beban tanpa diiringi dengan sumber energi yang cukup. Kualitas tegangan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan sumber daya reaktif pada sistem. Penurunan tegangan akan terjadi apabila keperluan daya reaktif meningkat (seiring dengan peningkatan beban) sedangkan sumber daya reaktif tidak terpenuhi. Untuk itu perlu adanya sumber daya reaktif lainnya selain dari generator seperti, bank kapasitor, dan beberapa peralatan *Flexible Alternating Current Transmission System* (FACTS) seperti *Static VAR Compensator* (SVC), *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC), *Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer* (TCPST), *Unified Power Flow Control* (UPFC), dan peralatan devais lainnya. Pada penelitian ini dikaji penggunaan devais *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC) untuk mengatasi masalah penurunan level tegangan dan rugi-rugi daya transmisi. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO). Metode ini diterapkan pada sistem tenaga listrik 500kV Jawa-Madura-Bali, dengan skenario pembebanan maksimum sistem. Unjuk kerja penggunaan devais TCSC dibandingkan dengan teknik kompensasi sistem transmisi konvensional yaitu dengan penggunaan bank kapasitor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan optimal TCSC lebih efektif daripada penempatan kapasitor bank dalam mengurangi rugi daya sistem, yaitu diperoleh pengurangan sebesar 10,28% dengan menggunakan TCSC serta 5,727% dengan menggunakan kapasitor bank dari rugi daya sebelum dikompensasi. Disamping itu, level tegangan pada sistem juga dapat diperbaiki hingga berada pada batas tegangan yang diijinkan.

Kata kunci — Kompensasi sistem transmisi, *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC), bank kapasitor, *Particle Swarm Optimization* (PSO)

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan beban sistem tenaga listrik adalah sebanding dengan pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia tiap tahun semakin meningkat. Seiring dengan bertambahnya beban, bertambah pula kebutuhan jumlah pembangkitan dan jumlah saluran transmisi yang membuat sistem semakin kompleks dan rentan terhadap gangguan. Perkembangan dan kebutuhan energi listrik yang terus meningkat saat ini memerlukan kontinuitas pelayanan

yang memenuhi syarat teknis (*engineering*) dan ekonomis (*economic*). Perubahan beban, komposisi unit pembangkit yang beroperasi serta perubahan konfigurasi jaringan akan berdampak pada bervariasinya level tegangan pada gardu induk atau pada sistem secara keseluruhan. Tegangan yang baik sesuai dengan standar operasi pada seluruh sistem akan menghasilkan rugi daya yang kecil pada sistem.

Karena itu, perbaikan dan pengaturan level tegangan pada sistem perlu dilakukan sehingga syarat operasi secara ekonomis dan teknis dapat tercapai. Teknik kompensasi sistem transmisi adalah biasa dilakukan untuk melakukan pengaturan tegangan. Salah satu cara untuk menjaga profil level tegangan sistem dan mengurangi rugi daya adalah dengan dengan penempatan kompensasi peralatan konvensional bank kapasitor atau dengan menggunakan peralatan *Flexible Alternating Current Transmission System* (FACTS) seperti *Static VAR Compensator* (SVC), *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC), *Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer* (TCPST), *Unified Power Flow Control* (UPFC), dan peralatan devais lainnya.

Pada penelitian ini perbandingan performansi peralatan FACTS, yaitu *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC) untuk mengatasi masalah penurunan level tegangan dan rugi-rugi daya transmisi dibandingkan dengan peralatan kompensasi bank kapasitor. TCSC secara spesifik digunakan untuk mengkompensasi reaktansi dari saluran transmisi, dan pada umumnya digunakan pada saluran transmisi pada kategori panjang.

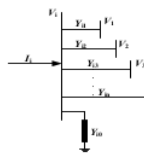
Namun demikian, persoalan utama dari penelitian ini adalah penentuan lokasi serta kapasitas optimal untuk penempatan TCSC dan bank kapasitor tersebut. Terdapat dua pendekatan penyelesaian yang banyak digunakan untuk menyelesaikan persoalan optimisasi yaitu metode deterministik dan pendekatan nondeterministik [1]. Metode deterministik adalah penyelesaian optimisasi dengan menggunakan pendekatan numerik, sedangkan metode non deterministik adalah dengan menggunakan pendekatan probabilitas *heuristic* probabilistik. Pada pendekatan *heuristic* probabilistik Algoritma Genetika (AG) banyak diterapkan untuk penyelesaian masalah sistem daya [2,3] dan kontrol tegangan dan daya [4]. Untuk solusi kompensasi daya reaktif and kontrol tegangan telah digunakan Artificial Immune Algorithm [5] dan implementasi Metode *Particle Swarm Optimization* [6].

Permasalahan umum dalam sebuah sistem adalah penentuan lokasi dan rating optimal dari peralatan FACTS yang akan digunakan. Pada penelitian ini metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi ini. PSO merupakan metode algoritma yang mengadopsi tingkah laku sosial pada kawanan burung yang terbang bersama-sama untuk mencari makanan.

II. ANALISIS SISTEM DAYA DAN PERALATAN KOMPENSASI

A. Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya dilakukan untuk mengetahui sudut dan besar tegangan pada tiap bus, impedansi saluran, daya aktif, dan daya reaktif yang mengalir pada saluran transmisi. Representasi dari saluran transmisi ditunjukkan seperti pada Gambar 1:



Gambar 1. Tipikal bus pada sistem tenaga

Dari Gambar 1, tegangan bus dan arus dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1):

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1i} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2i} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{ii} & \dots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{ni} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus} \quad (2)$$

Nilai arus dapat dicari dengan menggunakan hukum Kirchhoff sebagai berikut [7]:

$$I_i = Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{in}V_n - I_{ij} \quad (3)$$

atau

$$I_i = Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{in}V_n - I_{ij} \quad (4)$$

dengan I_i merupakan arus yang masuk ke bus i , V_i adalah tegangan pada bus i , dan Y_{ij} adalah admittansi antara bus i dan j .

Dari Persamaan (4), arus yang memasuki bus dapat ditulis ulang dalam bentuk matriks admittansi seperti Persamaan (5):

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij}V_j - I_{ij} \quad (5)$$

Substitusi Persamaan (3) dan (5), maka diperoleh;

$$I_i - I_{ij} = \{Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{in}V_n - I_{ij}\} \quad (6)$$

dengan memisahkan bagian *real* dan imajiner, maka didapatkan:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i||V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i - \delta_j) \quad (7)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i||V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i - \delta_j) \quad (8)$$

dengan I_i merupakan arus pada bus i , V_i adalah tegangan pada bus i , V_j adalah tegangan pada bus j , Y_{ij} adalah admittansi antara bus i dan j , P_i adalah daya aktif pada bus i , Q_i adalah daya reaktif pada bus i , θ_{ij} adalah sudut polar admittansi Y_{ij} , dan δ adalah sudut tegangan V_j .

44

Matriks Jacobian memberikan hubungan antara perubahan kecil pada sudut tegangan $\Delta\delta^{ik}$ dan *magnitude* tegangan $\Delta|V^{ik}|$ dengan perubahan kecil pada daya aktif dan reaktif ΔP^{ik} dan ΔQ^{ik} . Dalam bentuk yang lebih singkat, matriks di atas dapat ditulis sebagai:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \quad (9)$$

ΔP^{ik} dan ΔQ^{ik} adalah selisih antara nilai yang diharapkan dan nilai sebenarnya atau dikenal sebagai daya residu, dirumuskan dengan:

$$\Delta P^{ik} = P^{ik,old} - P^{ik,new} \quad (10)$$

$$\Delta Q^{ik} = Q^{ik,old} - Q^{ik,new} \quad (11)$$

sehingga didapatkan nilai tegangan dan sudut baru, yaitu:

$$\delta_i^{k+1} = \delta_i^{k,old} + \Delta\delta_i^{k+1} \quad (12)$$

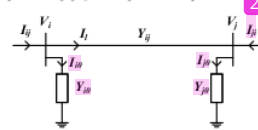
$$|V_i^{k+1}| = |V_i^{k,old}| + \Delta|V_i^{k+1}| \quad (13)$$

Langkah selanjutnya adalah perhitungan rugi-rugi saluran. Aliran arus diasumsikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Jika arus mengalir dari i ke j , maka:

$$I_{ij} = I_i + I_{ij} = Y_{ij}(V_i - V_j) + Y_{ij}V_j \quad (14)$$

Apabila ditinjau dari sisi bus i , maka arus yang mengalir bernilai negatif seperti Persamaan (15):

$$I_{ji} = -I_i + I_{ij} = Y_{ij}(V_i - V_j) + Y_{ij}V_i \quad (15)$$



Gambar 2. Pemodelan saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya

40

Daya kompleks S_{ij} dari bus i ke j dan S_{ji} dari bus j ke i adalah:

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* = V_i (V_i^* - V_j^*) Y_{ij} + Y_{ij} V_i V_j^* \quad (16)$$

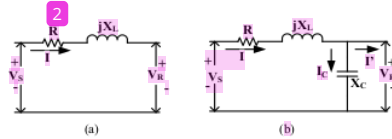
$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* = V_j (V_i^* - V_j^*) Y_{ij} - Y_{ij} V_i V_j^* \quad (17)$$

$$S_{L_{ij}} = S_{ij} + S_{ji} \quad (18)$$

dengan $S_{L_{ij}}$ merupakan total rugi daya saluran dari i ke j (MVA).

B. Bank Kapasitor

Kapasitor bank merupakan peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang terdiri dari beberapa kapasitor yang dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan kapasitas kapasitif tertentu. Kapasitas kapasitor yang umum digunakan adalah dari 5 kVAR sampai 60 kVAR, dengan rentang tegangan kerja dari 230 Volt sampai 525 Volt. Beberapa kegunaan dari kapasitor bank yaitu untuk penyeimbang beban induktif, perbaikan faktor daya, penyuplai daya reaktif sehingga maksimalkan penggunaan daya kompleks (kVA), mengurangi jatuh tegangan, menghindari kelebihan beban transformer, memberikan tambahan daya, serta dapat menghemat daya. Rangkaian ekivalen saluran transmisi sebelum dan setelah dipasang kapasitor bank ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian ekuivalen (a) sebelum dan (b) setelah pemasangan kapasitor bank

Berdasarkan Gambar 3, penurunan tegangan pada saluran transmisi sebelum kapasitor dipasang ditunjukkan pada Persamaan (19).

$$VD = I_R R + I_X X_L \quad (19)$$

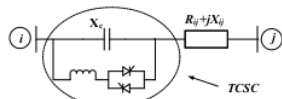
Setelah kapasitor ditempatkan secara paralel pada akhir saluran transmisi, maka persamaan penurunan tegangannya ditunjukkan seperti pada Persamaan (20).

$$VD = I_R R + I_X X_L - I_C X_C \quad (20)$$

Dengan VD : penurunan tegangan (volt), R : resistansi saluran (ohm), X_L : reaktansi induktif saluran (ohm), X_C : reaktansi kapasitif dari kapasitor (ohm), I_R : komponen daya nyata dari arus (ampere), I_X : komponen reaktif arus tertinggal (ampere), I_C : komponen reaktif arus mendahului (ampere), dan V_R adalah tegangan sisi terima (volt).

C. Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)

TCSC adalah salah satu jenis peralatan FACTS yang merupakan kombinasi antara komponen *Thyristor Controlled Reactor* (TCR) dengan kapasitor [8]. TCR terdiri dari induktor yang terhubung seri dengan thyristor. TCSC mampu mengatur reaktansi saluran transmisi dengan melakukan pengaturan sudut penyalan thyristor. Gambar 4 merupakan rangkaian sederhana dari TCSC.

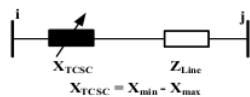


Gambar 4. Rangkaian sederhana TCSC [5]

Untuk mencegah terjadinya kompensasi berlebihan, derajat kompensasi TCSC diatur pada nilai 20% induktif dan 70% kapasitif atau $-0,7X_{line}$ hingga $0,2X_{line}$ [9], sehingga :

$$r_{TCSCmin} = -0,7 \quad r_{TCSCmax} = 0,2$$

Pemodelan TCSC dengan persamaannya yang dapat mengubah nilai reaktansi saluran transmisi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Model TCSC pada Saluran Transmisi [9]

Hubungan antara rating TCSC dengan reaktansi pada saluran transmisi dinyatakan sebagai berikut :

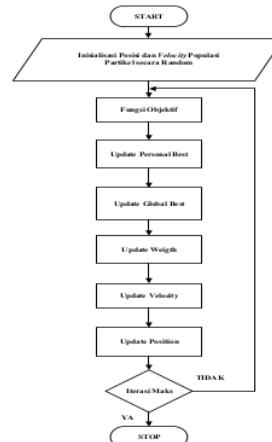
$$X_{total} = X_{saluran} + X_{TCSC} \quad (19)$$

$$X_{TCSC} = r_{TCSC} \times X_{saluran} \quad (20)$$

dengan $X_{saluran}$ merupakan reaktansi saluran transmisi dan r_{TCSC} adalah rating kompensasi TCSC.

III. ALGORITMA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

PSO merupakan teknik optimasi yang menerapkan metode pencarian makanan oleh sekelompok burung maupun ikan pada suatu ruang permasalahan. Secara sederhana algoritma PSO dapat dituliskan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir PSO

Proses pencarian nilai optimum melalui algoritma PSO dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Inisialisasi posisi partikel secara random pada suatu ruang permasalahan.

$$Posisi\ partikel = Batas\ Bawah + (Batas\ Atas - Batas\ Bawah) \times rand(1, jumlah\ Part.) \quad (21)$$

2. Inisialisasi kecepatan tiap-tiap partikel.

$$V_{max} = \frac{(Batas\ Atas - Batas\ Bawah)}{N} \quad (22)$$

$$Kecepatan\ partikel = (V_{prev} - V_{prev}) \times rand(1, jumlah\ Partikel) + V_{max} \quad (23)$$

3. Evaluasi fungsi tujuan tiap partikel.
4. Menentukan P_{best} dan G_{best} mula-mula.

5. Update kecepatan dan posisi partikel ditunjukkan pada Persamaan (24) dan (25). Pada fase ini digunakan koefisien akselerasi c_1 dan c_2 umumnya bernilai 0 sampai 4. Selain itu juga digunakan fungsi penimbang (w) untuk mengatur eksplorasi global dan lokal partikel, yang biasanya bernilai 0,4 sampai 0,9. Fungsi perbaikan penimbang (*weight*) dituliskan dalam Persamaan (26).

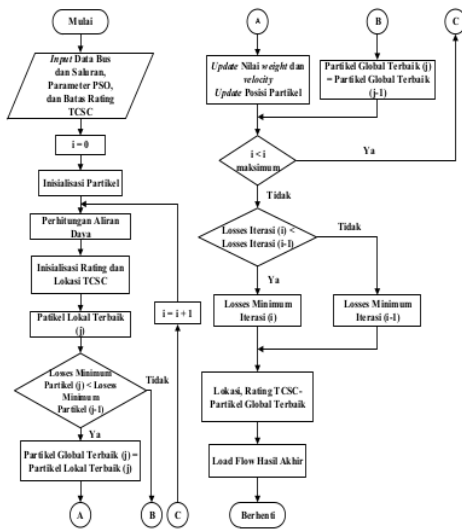
$$V_{id}(t+1) = V_{id}(t) + w \times (V_{id}(t) + c_1 \times r_{12} \times (P_{best, id}(t) - X_{id}(t)) + c_2 \times r_{2d}(t) \times (G_{best}(t) - X_{id}(t))) \quad (24)$$

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + V_{id}(t) \quad (25)$$

dengan t merupakan iterasi, $V_{id}(t)$ adalah kecepatan saat ini dari partikel i dalam dimensi d pada iterasi t , $V_{id}(t+1)$ adalah kecepatan dari partikel i dalam dimensi d pada iterasi $t+1$, $X_{id}(t)$ merupakan posisi saat ini dari partikel i dalam

- dimensi d pada iterasi t , $X_{id}(t+1)$ merupakan posisi dari partikel i dalam dimensi d pada iterasi $t+1$, c_1 adalah konstanta akselerasi 1 (konstanta kognitif), c_2 adalah konstanta akselerasi 2 (konstanta sosial), $T_{1d}(t)$ dan $T_{2d}(t)$ adalah bilangan acak terdistribusi seragam antara 0 dan 1, $P_{bestid}(t)$ merupakan posisi terbaik lokal dari partikel i dalam dimensi d pada iterasi t , dan $G_{bestid}(t)$ merupakan posisi terbaik lokal dari global pada iterasi t .
19. Mengevaluasi nilai fungsi tujuan pada iterasi selanjutnya.
 7. Menentukan P_{best} dan G_{best} akhir.
 8. Mengevaluasi apakah solusi sudah optimal, apabila sudah optimal maka proses algoritma berhenti, namun apabila belum optimal maka kembali ke langkah 3.

Diagram alir dari implementasi algoritma *Particle Swarm Optimization* ditunjukkan pada Gambar 7 dan parameter terkontrol yang digunakan pada algoritma PSO ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 7. Diagram alir program PSO

Tabel 1. Parameter PSO

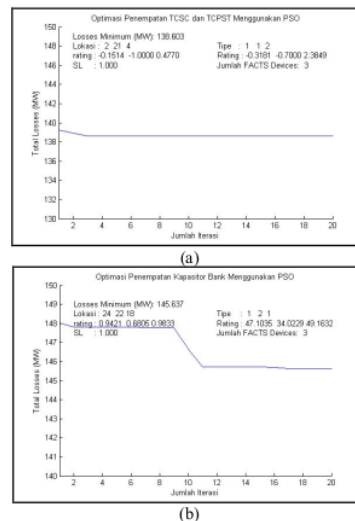
Parameter	Nilai
Jumlah Partikel	50
Maksimum Iterasi	20
Jumlah Variabel	3
c_1 dan c_2	4
weight (w)	0,4
r_{TCSC} maksimal	$0,2 X_{line}$
r_{TCSC} minimal	$-0,7 X_{line}$
δ_{TCPST} maksimal	5°
δ_{TCPST} minimal	-5°
Fungsi Objektif	$\text{Min } F = \text{min } P_{loss}$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, simulasi dilakukan pada dua kondisi pembebanan maksimum. Pada masing-masing pembebanan tersebut juga disimulasikan penempatan kapasitor bank dan koordinasi TCSC yang keduanya

dioptimasi dengan menggunakan metode PSO. Pada bagian ini hasil simulasi pada kondisi sebelum kompensasi, setelah kompensasi dengan apasitor bank dan TCSC yang dioptimasi PSO dihitung dan didiskusikan.

Hasil simulasi sistem tenaga listrik 500kV JAMALI pada pembebanan maksimum dengan 3 kondisi sistem dibandingkan berdasarkan nilai tegangan pada tiap bus, rugi daya aktif, dan rugi daya reaktif yang dihasilkan. Grafik konvergensi PSO ditunjukkan pada Gambar 8. Lokasi dan rating optimal TCSC ditunjukkan pada Tabel 2, sedangkan untuk kapasitor bank ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 8. Grafik konvergensi PSO (a) TCSC dan (b) kapasitor bank

Berdasarkan Gambar 8 titik konvergensi penempatan optimal TCSC dicapai pada iterasi ke-3 sedangkan untuk kapasitor bank dicapai pada iterasi ke-17.

Tabel 2. Penempatan optimal TCSC oleh PSO

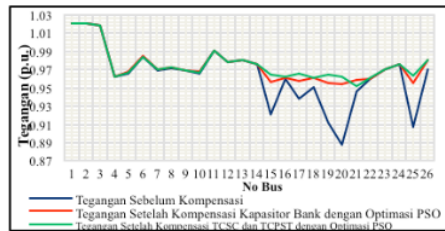
Jenis	Lokasi (saluran)	Dari Bus	Menuju Bus	Rating
TCSC	2	Suralaya	Cilegon	$-0,318X_{line}$
TCSC	21	Ungaran	Tanjung Jati	$-0,700X_{line}$
TCPST	4	Cilegon	Cibinong	$2,385^\circ$

Tabel 3. Penempatan optimal kapasitor bank oleh PSO

Jenis	Lokasi (bus)	Rating (MVAR)
Kapasitor Bank	15 (Tasikmalaya)	49,163
Kapasitor Bank	19 (Ungaran)	34,023
Kapasitor Bank	20 (Pedan)	47,104

Tegangan tiap bus ditunjukkan pada Gambar 9 dan Tabel 4. Berdasarkan Gambar 9 tersebut dan Tabel 4 dapat dilihat bahwa terjadi perbaikan level tegangan pada bus-bus yang tidak memenuhi batas tegangan yang diijinkan. Penempatan TCSC memiliki hasil perbaikan level tegangan lebih baik daripada

penempatan kapasitor bank. Rugi daya aktif saluran ditunjukkan pada Gambar 10 dan Tabel 5.



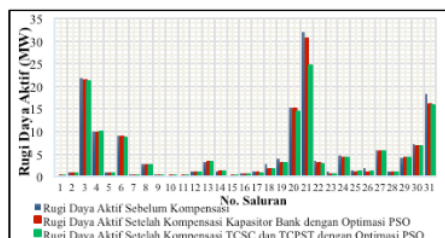
Gambar 9. Perbandingan profil tegangan

Tabel 4. Perbandingan level tegangan dari 3 kondisi sistem

No	Nama Bus	Tegangan (p.u.)			No	Nama Bus	Tegangan (p.u.)		
		Sebelum	Kap. Bank PSO	TCSC PSO			Sebelum	Kap. Bank PSO	TCSC PSO
1	NewSurabaya	1,020	1,020	1,020	14	Saguling	0,975	0,975	0,975
2	Surabaya	1,020	1,020	1,020	15	Tasikmalaya	0,920	0,956	0,964
3	Cilegon	1,018	1,018	1,018	16	Bandung Sdn	0,959	0,960	0,961
4	Kembangan	0,961	0,962	0,961	17	Mandirica	0,937	0,957	0,965
5	Gandul	0,965	0,967	0,966	18	Tanjung Lati	0,950	0,960	0,960
6	Balaraja	0,983	0,984	0,983	19	Ungaran	0,911	0,955	0,964
7	Cibinong	0,968	0,969	0,969	20	Pedan	0,887	0,953	0,961
8	Cawang	0,971	0,972	0,972	21	Nimbang	0,945	0,958	0,951
9	Bekasi	0,968	0,968	0,968	22	Surabaya Brt	0,959	0,959	0,960
10	Depok	0,965	0,967	0,966	23	Gresik	0,970	0,970	0,970
11	Muaratawar	0,990	0,990	0,990	24	Ganti	0,975	0,975	0,975
12	Cibatu	0,978	0,978	0,978	25	Kediri	0,906	0,955	0,963
13	Cirata	0,980	0,980	0,980	26	Paibon	0,970	0,980	0,980

Tabel 5. Perbandingan rugi daya aktif dari 3 kondisi sistem

No	Saluran	Rugi Daya Aktif (MW)			No	Saluran	Rugi Daya Aktif (MW)		
		Sebelum	Kap. Bank PSO	TCSC PSO			Sebelum	Kap. Bank PSO	TCSC PSO
1	2-1	0,001	0,001	0,001	17	14-16	1,109	0,980	0,803
2	2-3	0,809	0,806	0,820	18	15-18	2,811	1,729	1,681
3	2-6	21,57	21,394	21,215	19	17-16	3,756	2,990	2,960
4	3-7	9,869	9,794	10,031	20	17-19	15,088	14,976	14,506
5	5-4	0,824	0,822	0,822	21	19-18	31,896	30,585	24,623
6	5-6	8,898	8,807	8,701	22	19-20	3,422	2,994	2,796
7	7-14	0,309	0,289	0,297	23	19-21	0,975	0,449	0,542
8	9-7	2,686	2,681	2,678	24	20-15	4,437	4,202	4,135
9	9-8	0,306	0,300	0,302	25	21-22	1,285	0,973	1,125
10	10-5	0,024	0,022	0,020	26	22-19	1,863	1,074	1,121
11	10-7	0,130	0,100	0,104	27	22-24	5,779	5,694	5,666
12	11-7	0,977	0,915	0,924	28	23-22	1,170	1,067	0,924
13	11-8	3,236	3,209	3,215	29	25-20	4,073	4,183	4,183
14	12-11	1,098	1,099	1,096	30	26-24	7,156	6,816	6,837
15	12-13	0,130	0,129	0,130	31	26-25	18,191	15,952	15,733
16	14-13	0,608	0,607	0,609	Total		154,486	145,639	138,603



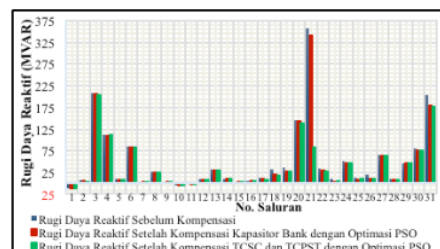
Gambar 10. Perbandingan profil rugi daya aktif

Berdasarkan Gambar 10 dan Tabel 5, adanya kompensasi kapasitor bank yang dioptimasi PSO dapat mereduksi rugi daya aktif sebesar 8,847 MW (5,727%). Kompensasi peralatan FACTS dengan koordinasi TCSC mampu mereduksi rugi daya aktif

sebesar 15,883 MW (10,28%) dari sebelum diberikan perabotan kompensasi.

Tabel 6. Perbandingan rugi daya reaktif dari 3 kondisi sistem

No	Saluran	Rugi Daya Reaktif (MVAR)			No	Saluran	Rugi Daya Reaktif (MVAR)		
		Sebelum	Kap. Bank PSO	TCSC PSO			Sebelum	Kap. Bank PSO	TCSC PSO
1	2-1	-11,815	-11,815	-11,815	17	14-16	11,720	10,277	8,298
2	2-3	6,677	6,642	3,884	18	15-18	31,357	19,246	18,710
3	2-6	206,775	205,086	203,371	19	17-16	35,875	28,510	28,218
4	3-7	110,304	109,465	112,116	20	17-19	144,856	143,769	139,255
5	5-4	8,338	8,313	8,316	21	19-18	35,664	34,199	82,441
6	5-6	84,933	84,054	83,037	22	19-20	32,728	28,601	26,696
7	7-14	3,127	2,904	2,992	23	19-21	9,303	4,245	5,139
8	9-7	25,455	25,402	25,381	24	20-15	49,566	46,927	46,169
9	9-8	2,145	2,092	2,104	25	21-22	12,097	9,090	10,551
10	10-5	-4,241	-4,270	-4,283	26	22-19	17,850	10,262	10,717
11	10-7	-0,456	-0,747	-0,706	27	22-24	64,320	63,362	63,051
12	11-7	9,130	8,532	8,624	28	23-22	10,131	9,148	7,767
13	11-8	30,805	30,541	30,606	29	25-20	45,448	46,674	46,670
14	12-11	9,976	9,989	9,958	30	26-24	79,737	75,925	76,167
15	12-13	0,654	0,648	0,661	31	26-25	203,384	178,325	175,881
16	14-13	4,763	4,755	4,775	Total		1,591,582	1,497,911	1,224,751



Gambar 11. Perbandingan profil rugi daya reaktif

Berdasarkan Gambar 11 dan Tabel 6, adanya kompensasi kapasitor bank yang dioptimasi PSO dapat mereduksi rugi daya reaktif sebesar 93,571 MVAR (5,885%), sedangkan kompensasi peralatan FACTS dengan koordinasi TCSC mampu mereduksi rugi daya reaktif sebesar 366,831 MVAR (23,048%).

5

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penempatan optimal untuk TCSC pada pembebanan maksimum dapat meningkatkan kapabilitas saluran transmisi dalam penyaluran daya dan mampu meminimumkan rugi-rugi daya aktif saluran transmisi pada sistem tenaga listrik 500kV Jawa-Madura-Bali.
2. Penerapan metode PSO pada penempatan optimal dan rating dari TCSC dapat mengurangi rugi daya aktif sistem tenaga listrik 500kV Jawa-Madura-Bali hingga 15,883 MW atau sebesar 10,28% Hasil ini jauh lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan kapasitor bank yang dioptimasi PSO yang hanya mampu mengurangi hingga 8,847 MW atau sebesar 5,727%.
3. Penempatan optimal TCSC pada saluran transmisi dengan optimasi menggunakan PSO mampu memperbaiki nilai tegangan pada tiap bus sistem yang mengalami penurunan (*drop*) tegangan sehingga berada pada batas tegangan yang diijinkan yaitu $1 \pm 5\%$ p.u. ($0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ p.u.).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amoiralis, E.I.; Tsili, M.A.; Kladas, A.G., Global transformer design optimization using deterministic and non-deterministic algorithms, International Conference on Electrical Machines (ICEM) XXth, 2012, Page(s): 2323 – 2331
- [2] Mustafa, M.W.; Alaiman, M.H.; Shareef, H.; Khalid, S.N.A., Reactive power tracing in pool-based power system utilising the hybrid genetic algorithm and least squares support vector Machines, IET Generation, Transmission & Distribution, Volume: 6, Issue: 2, 2012, Page(s): 133–141
- [3] Gerbex, S.; Cherkaoui, R.; Germond, A.J., Optimal location of multi-type FACTS devices in a power system by means of genetic algorithms, IEEE Transactions on Power Systems, Volume: 16, Issue: 3, 2001, Page(s): 537-544
- [4] Malachi, Y. ; Singer, S., A genetic algorithm for the corrective control of voltage and reactive power, IEEE Transactions on Power Systems, Volume: 21, Issue: 1, 2006, Page(s): 295 – 300
- [5] Tsair-Fwu Lee ; Ying-Chang Hsiao ; Ming-Yuan Cho ; Pei-Ju Chao ; Tze-Liang Huang ; Horng-Yuan Wu; VAR Compensation and Voltage Control Strategy Optimization Using Artificial Immune Algorithm for Intelligent Transmission Networks, Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control, 2007. ICICIC '07, 2007, Page(s): 186
- [6] Yoshida, H. ; Kawata, K. ; Fukuyama, Y. ; Takayama, S. ; Nakanishi, Y.; A particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment, IEEE Transactions on Power Systems, Volume: 15, Issue: 4, 2000, Page(s): 1232 - 1239
- [7] Saadat, H. 1999. Power System Analysis. McGraw-Hill: International Edition.
- [8] Acha, E., dkk. 2004. FACTS Modelling and Simulation in Power Networks. John Wiley & Sons Ltd.
- [9] Cai, L.J. ; Erlich, I. ; Stamtsis, G., Optimal choice and allocation of FACTS devices in deregulated electricity market using genetic algorithms, Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES, 2004 vol.1Page(s): 201 – 207

Analisis Penjadwalan Perawatan Transformator Daya

Zulfa¹⁹ Aini, MT

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Riau, Indonesia

email: zulfatri_aini@yahoo.com

Abstract—PT. PLN (Persero) Transmission Service Unit (UPT) Pekanbaru, have the duty and responsibility to manage and deliver electricity in the Riau region. In operation, PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru is divided into two operating regions, namely the scope of the Utragi Teluk Lembu and Utragi Duri.

Scheduling maintenance for electrical equipment such as power transformers operating conditions required to obtain an effective and efficient in accordance with existing conditions. In analyzing the scheduling, can use a mathematical approach based on the reliability and availability of the operating system transformer. Operating system will reduce the loss in unwanted operations effectively.

This papers, scheduling maintenance is modelled by using Markov diagram. Modelling techniques use Markov approach offers a model to account timing of repair or repairable systems. Scheduling maintenance which is gotten from the power transformer failure rate about for 2 years.

By Markov model, it can get to determine the scheduling maintenance which can be concluded that the result of Markov method analysis can give the easiness for maintenance schedule planning team to evaluate transformer performance, making prediction, and showing scheduling maintenance simulations.

Key Word; Failure Rate; Scheduling; Markov; PT. PLN UPT Pekanbaru

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan hidup yang sangat penting bagi masyarakat kita saat ini. Karena besarnya keinginan terhadap energi listrik, sehingga dituntut suatu ketersediaan, kesinambungan, dampak lingkungan yang bersih, kuantitas yang tinggi serta harga yang terjangkau oleh masyarakat luas.

Keandalan merupakan salah satu aspek yang terpenting dalam suatu sistem tenaga listrik. Keandalan sistem tenaga listrik yang digunakan menentukan bagaimana kualitas dari layanan sistem yang dapat diberikan.

Pemeliharaan transformator daya dilakukan untuk menjaga efektivitas dan daya tahan peralatan sistem tenaga listrik, khususnya transformator daya agar dapat bekerja sebagaimana mestinya sehingga kontinuitas penyaluran tetap terjaga dengan baik. Oleh karena itu diperlukan pemeliharaan secara terjadwal sesuai dengan buku standar perawatan. Jika terjadi ketidaknormalan dari suatu hasil pemeliharaan transformator maka perlu dilakukan investigasi lebih lanjut agar tidak terjadi gangguan pada saat transformator beroperasi^[4].

Rumusan Masalah

Bagaimana membuat suatu penjadwalan perawatan transformator daya tersebut menggunakan metode Markov.

Tujuan

Menghasilkan jadwal perawatan transformator daya yang baru yang sesuai dengan perawatan transformator daya yang telah dilakukan oleh PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) Sumatera Unit Pelayanan Transmisi (UPT) Pekanbaru.

Tinjauan Pustaka

Suatu cara untuk menentukan perawatan serta perbaikan yang baik untuk transformator adalah menganalisa suatu proses siklus perawatan pada suatu sistem atau komponen, dan dilakukan suatu pendekatan studi pada teknik keandalan dan proses stokastik sehingga dapat menyesuaikan dan menerapkan pada kondisi lapangan yang sesungguhnya^[6].

Pada aplikasi ilmu peluang dan proses stokastik dengan konsep pemodelan menggunakan proses Markov dapat diterapkan terhadap suatu sistem atau peralatan yang selanjutnya menjadi karakteristik penting analisis keandalan atau ketersediaan sistem^[7] dikutip^[6]. Karakteristik dari sistem tersebut dapat disimulasikan penerapannya dalam sistem terhadap berbagai konsep dasar perawatan dan hubungannya dengan keandalan serta ketersediaan secara mendetail^[1].

Transformator

Transformator adalah salah satu komponen terpenting dan vital dalam sistem tenaga listrik, yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak balik dari suatu nilai ke nilai tertentu dengan nilai frekuensi yang sama. Sehingga karena prinsip kerja transformator daya yang sederhana ini menyebabkan peralatan ini banyak dipakai dalam sistem penyaluran daya elektrik antara lain pada sistem transmisi dan distribusi listrik^[3].

2

Teori Peluang

Ilmu peluang (probabilitas) digunakan untuk membantu dalam menyelesaikan dan membentuk pemikiran sistematis terhadap permasalahan ketidakpastian. Dalam kasus pengoperasian transformator pada penelitian ini, bila dalam suatu periode waktu sangat diyakini transformator dapat bekerja tanpa adanya suatu kejadian yang menyebabkan tidak

beroperasinya transformator untuk jangka waktu tak terhingga, maka dapat dinyatakan peluang beroperasi transformator tersebut adalah 1. Sebaliknya kondisi transformator yang sudah tidak dapat beroperasi lagi untuk selama-lamanya dinyatakan sebagai peluang beroperasinya 0. Tentunya akibat keterbatasan kemampuan sistem menyebabkan tidak ada peralatan yang sempurna sehingga peluang beroperasi akan berkisar di antara 0 dan 1. Dan seiring dengan waktu, berbagai kejadian yang dialami peralatan transformator akan menyebabkan perubahan nilai peluang beroperasi yang umumnya cenderung semakin menurun, menuju 0 (akan mengalami keadaan *off-line*) [7].

Metodologi Riset

- Mengidentifikasi data gangguan sesuai dengan gejala kejadian yang terjadi pada transformator daya.
- Menghitung nilai laju kegagalan yang terjadi dari transformator daya. Nilai laju kegagalan yang diambil adalah gangguan yang paling sering terjadi pada beberapa transformator daya..
- Menghitung nilai MTTF (*Mean Time to Failure*), dan MTTR (*Mean Time to Repair*), dari objek data lapangan yang digunakan.
- Setelah mendapatkan nilai laju kegagalan, nilai kehandalan, MTTF, MTTR, maka dicari nilai *availability* dan *unavailability* dari transformator daya tersebut.
- Pemodelan Markov dilakukan untuk mendapatkan jadwal perawatan transformator daya sesuai dengan nilai keandalan yang didapat dari transformator daya tersebut dikombinasikan dengan jadwal PT. PLN (Persero), sehingga didapatkan jadwal perawatan yang baru dan lebih efektif dilakukan pada unit transformator daya yang diteliti.
- Perhitungan *steady state* pemodelan Markov.

a) Data dan Analisa

Tabel 1. Data Transformator Daya di PT. PLN (Persero) P3BS UPT Pekanbaru

No.	Gardu Induk	No. Trafo	MVA Terpasang	Merk Trafo
I. TRAGI TELUK LEMBU				
1	Koto Panjang	TD#1	20	Pauwels
2	Bangkinang	TD#1	31.5	Pauwels
3	Garuda Sakti	TD#1	50	Hyundai
		TD#2	50	Hyundai
		TD#3	60	Pauwels
4	Teluk Lembu	TD#1	60	Unindo
		TD#2	60	Pauwels
II. TRAGI DURI				
5	Duri	TD#1	30	Unindo
		TD#2	30	Pasti
6	Dumai	TD#1	30	Unindo
		TD#2	30	Unindo
7	Bagan Batu	TD#1	20	Unindo
8	Kota Pinang	TD#1	30	Pauwels
Total		13	501.5	

Sumber : PT. PLN (Persero) P3BS UPT Pekanbaru

Data Downtime

Data gangguan operasi yang menyebabkan pemadaman pada transformator di UPT Pekanbaru diambil dalam kurun waktu 2 (dua) tahun. Selama kurun waktu tersebut tercatat beberapa gangguan yang terjadi pada sistem yang menyebabkan tidak berfungsinya transformator daya selama beberapa saat sebelum dilakukan tindakan perbaikan atau penggantian. Lama waktu tidak berfungsinya transformator ini disebut sebagai *downtime*, pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Data *downtime* akibat gangguan transformator selama tahun 2010-2011

No.	Lokasi GI dan No Trafo	Tanggal	Jam	Durasi (Menit)
1	GS TD 1	7 Jan 10	19.40	2
2	GS TD 1	22 Mar 10	17.32	87
3	GS TD 2	Maret 10		80
4	Teluk Lembu TD1	April 10		11
5	GS TD 1	Mey 10		6
6	GS TD 2	Agust 10		7
7	Bagan Batu	Des 10		6
8	Teluk Lembu TD2	Des 10		12
9	Teluk Lembu TD2	11 April 11	00.42	345
10	Teluk Lembu TD1	21 April 11	11.13	109
11	Dumai TD 1	21 Juni 11	08.42	216
12	Bangkinang	3 Juli 11	16.08	27
13	Teluk Lembu TD 2	8 Juli 11	03.37	190
14	Kota Pinang	24 Juli 11	00.43	26
15	Duri TD 1	1 Agust 11	13.59	52
16	Duri TD 1	2 Agust 11	00.59	57
17	Bangkinang	6 Oktober	11.39	47

Sumber : PT. PLN (Persero) P3BS UPT Pekanbaru

B. Kondisi State

Berdasarkan data downtime yang didapat dari data lapangan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai laju kegagalan yang terjadi pada transformator.

Jumlah Waktu *Downtime* :

$$t_1 = 21 \text{ jam } 80 \text{ menit}$$

$$t_1 = 1280 \text{ menit}$$

Jumlah Waktu Perawatan *Off-line*:

$$t_2 = 13 \text{ unit} \times 5 \frac{\text{jam}}{\text{unit}} \times 60 \frac{\text{menit}}{\text{jam}}$$

$$t_2 = 3900 \text{ menit}$$

Jumlah Waktu Pengoperasian :

$$t_3 = 13 \text{ unit} \times 2 \text{ tahun}$$

$$t_3 = 26 \text{ tahun}$$

Jumlah *Downtime* :

$$d = 17$$

kegagalan diturunkan dari persamaan berikut:

$$\lambda = \frac{d}{t_3} = \frac{17}{26} = 0,6538$$

Keterangan :

$$d = \text{Jumlah } \textit{Downtime}$$

t_3 = Jumlah waktu pengoperasian tiap Transformator

Nilai rata-rata menuju failure (MTTF) yaitu :

$$MTTF = 1/\lambda = 1/0,6538 = 1,529 \text{ tahun}$$

Berdasarkan laju kegagalan tersebut dapat dirumuskan nilai keandalan dari transformator yaitu :

$$\begin{aligned} R(t) &= e^{-\lambda t} \\ R(2) &= e^{(-0,6538)(2)} \\ R(2) &= e^{(-1,3076)} \\ R(2) &= 0,273 \end{aligned}$$

Dari durasi laju kegagalan yang didapat, juga akan didapat nilai waktu rata-rata perbaikan (*mean time to repair / mtrr*) yaitu:

$$MTTR = \frac{\sum \text{waktu perbaikan}}{\text{total kejadian}} \quad \dots(4.7)$$

$$\begin{aligned} MTTR &= \frac{1280}{17} \\ MTTR &= 75,19 \text{ menit /kegagalan} \quad \dots(4.8) \\ MTTR &= 1,15 \text{ jam} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk laju perbaikan dari transformator tersebut dapat dihitung dari :

Dari definisi ketersediaan (*availability*), maka dari data yang diperoleh dapat dihitung ketersediaan operasional, yaitu berapa persentase waktu transformator bekerja selama telah digunakan sepanjang 2 tahun (= 2 tahun × 365 hari/tahun × 24 jam/hari × 60 menit/hari = 1051200 menit) untuk 13 transformator (= 13 × 1051200 menit = 13665600 menit), yaitu :

$$A(2th) = \frac{(13 \times 2 \text{ tahun}) - t_1 - t_2}{(13 \times 2 \text{ tahun})}$$

$$A(2th) = \frac{13.665.600 - 1280 - 3900}{13.665.600}$$

$$A(2th) = 0,99962$$

$$A(2th) = 99,962\%$$

Pemodelan Markov

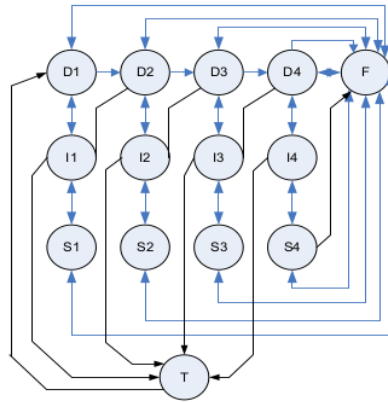
Dalam tahap pemodelan markov ini, keadaan-keadaan kondisi dari dapat ditampilkan seperti berikut :

Tabel 3. Prosedur operasi yang dilakukan berdasar pengujian tegangan tembus transformator

Kondisi	Tegangan Tembus	Analisis Tindakan
		Tindakan
1	74<	Kondisi normal. Tindakan seperlunya Pemeriksaan beban operasional
2	58-74	Periksa kondisi dan penanganan awal perbaikan Periksa kondisi dan perbaikan dini
3	46-58	Periksa usia dan kondisi. Rencanakan penggantian Periksa usia dan kondisi. Pikirkan penggantian
4	<46	Sebaiknya segera diganti. Kondisi cukup kritis Sebaiknya segera diganti. Kondisi sangat kritis

Terdapat 4 kondisi yang berurutan mulai dari yang paling baik hingga paling buruk, diberi simbol D1, D2, D3, dan D4. Pemodelan Markov menggambarkan keadaan-keadaan ini dalam simbol ling-karan, dan dijabarkan dari kiri ke kanan mulai dari kondisi terbaik hingga terburuk. Keempat keadaan di atas merupakan keadaan *on-line* yang artinya sebuah unit apapun keadaannya, namun transformator masih difungsikan. Perlu ditambahkan sebuah keadaan lagi, yaitu keadaan kegagalan (*failure*), merupakan keadaan transformator *off-line* yang sepatutnya dihindari dalam pengoperasian. Keadaan *off-line* ini diberi simbol *F*.

Dengan mempertimbangkan adanya tindakan perawatan, maka ditambah-kan keadaan-keadaan pada model Markov yang menggambarkan keadaan saat transformator mengalami perawatan. Pada model karena yang menjadi topik utama adalah siklus perawatan transformator, maka keadaan diambil dari kondisi-kondisi pengujian tegangan tembus serta tindakan-tindakan yang harus diambil.



Gambar 1. Diagram model Markov untuk insulasi minyak transformator

Setiap kegiatan pengujian di kandungan gas terlarut disimbolkan sebagai keadaan inspeksi berturut I_1 , I_2 , I_3 dan I_4 . Interpretasi hasil pengujian membawa transformator ke beberapa keadaan, apakah kembali ke keadaan perusakannya bila laju perubahan hasil pengujian cenderung tetap, atau menuju ke kondisi semi transisi S_1 , S_2 , S_3 dan S_4 bila terdapat nilai laju perubahan yang sedang, atau menuju ke keadaan perusakan yang lebih parah bila laju perubahan tinggi.

Melibatkan tindakan perbaikan akan menyebabkan transformator mengalami kondisi *off-line*. Tindakan ini antara lain penyulingan (*treatment*) pada minyak transformator bahkan penggantian minyak transformator. Tindakan perawatan *treatment* juga merupakan keputusan yang diambil dari hasil inspeksi I_1 , I_2 , I_3 , dan I_4 . Hasil dari keadaan ini membawa transformator kembali ke keadaan D_1 . Sedangkan tindakan perbaikan dari keadaan F menuju keadaan sebelum gagal (*recovery*) juga dimungkinkan terjadi sehingga model Markov secara lengkap untuk kondisi transformator berdasarkan insulasi minyaknya digambarkan pada gambar 1.

Sebagai pelengkap model Markov yang telah disusun, perlu ditambahkan nilai-nilai transisi antar keadaan. Transisi pada model Markov pada gambar 1. digambarkan sebagai anak-anak panah yang menghubungkan antar keadaan. Setiap transisi akan memiliki nilai laju transisi yang didapat dari hasil pengolahan data maupun dari pengalaman yang telah dilakukan selama ini oleh tim perawatan. Laju transisi (*rate transition*) mempunyai arti berapa kali terjadi dalam sebuah satuan waktu. Pada pembahasan ini laju transisi dalam berapa kali per tahun. Laju transisi juga berarti seper waktu rata-rata. Artinya bila suatu transisi membutuhkan waktu rata-rata t_{tr} , maka laju transisinya adalah sebesar $1/t_{tr}$. Misal transisi dari keadaan A ke keadaan B membutuhkan waktu rata-rata 10 tahun, maka laju transisinya dari A ke B adalah 1 kali/10 tahun = $1/10$ kali/tahun = 0,1 kali/tahun.

Sesuai dengan asumsi awal, bahwa laju transisi dianggap konstan, karena salah satu

persyaratan dari pemodelan dengan rantai Markov kontinyu adalah laju transisi yang konstan^[5].

Analisis

Hasil simulasi dengan model Markov yang telah dibuat menggunakan bantuan perangkat komputer dengan software *MATLAB*, peluang masing-masing keadaan pada kondisi mantap ditunjukkan pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Peluang keadaan mantap tiap keadaan model Markov

No	Keadaan	Peluang <i>Steady State</i>
1	D1	0.6832
2	I1	0.0050
3	S1	0.0570
4	D2	0.1166
5	I2	0.0044
6	S2	0.0277
7	D3	0.0344
8	I3	0.0043
9	S3	0.0073
10	D4	0.0232
11	I4	0.0261
12	S4	0.0106
13	T	0.0002
14	F	0.0000

Berdasarkan hasil penelitian, peluang keadaan mantap yang ditunjukkan hasil menjelaskan bahwa sepanjang waktu transformator dalam keadaan *on-line* terjadi peluang kondisi keadaan mantap sebanyak 99.9%. Dalam hal ini dapat kita artikan bahwa dalam

pengoperasian transformator selama 2 tahun, peluang terjadinya *downtime* adalah $2 \text{ tahun} \times (100\% - 99.9\%) = 2 \times 0.1\% \text{ tahun} = 0.73 \text{ hari}$.

Keuntungan dalam penggunaan metode Markov adalah dalam penyediaan kurva ketersediaan dapat kita gambarkan sejak $t = 0$ hingga waktu yang tak terhingga atau dalam kondisi mantap.

Untuk kurva keandalan memberikan suatu informasi tentang banyaknya suatu peluang transformator untuk tidak pernah mengalami keadaan *offline* semenjak pengoperasiannya setelah terjadi gangguan *downtime*. Berdasarkan hasil yang didapat dari kinerja tim perawatan PT. PLN (Persero) P3BS UPT Pekanbaru, nilai keandalan yang didapat dari metode Markov ini dapat digunakan sebagai evaluasi selanjutnya terhadap hasil kinerja transformator.

Suatu tindakan perawatan yang terjadwal dapat menghasilkan kinerja transformator yang baik. Namun apabila suatu tindakan perawatan yang terlalu sering akan dapat menurunkan keandalan suatu transformator. Hal ini dikarenakan transformator tersebut sering padam akibat dilakukannya perawatan, dan juga akan menambah biaya perawatan yang akan dikeluarkan.

Tabel 5 Penjadwalan Perawatan Berdasarkan Kondisi Transformator

No	Kondisi	Inspeksi Kondisi	Waktu Rekomendasi	Tindakan
1	D ₁	I ₁	1	Perawatan dan pengujian dilakukan dalam waktu 1 tahun.
2	D ₂	I ₂	4	Perawatan dan pengujian dilakukan dalam waktu triwulan (3 bulanan)
3	D ₃	I ₃	12	Perawatan, dan pengujian dilakukan dalam waktu tiap bulan
4	D ₄	I ₄	52	Perawatan dan pengujian dilakukan dalam waktu mingguan
5	S ₁	I ₁	4	Perawatan dan pengujian dilakukan dalam waktu triwulan (3 bulanan)

Kesimpulan

1. Penjadwalan perawatan transformator tersebut dapat memenuhi syarat proses industri dengan ketentuan :
 - a. Diagram Markov yang sesuai dengan kondisi pengujian lapangan.
 - b. Keandalan dari pengoperasian transformator daya yang memenuhi syarat.

- c. Nilai ketersediaan berdasarkan perhitungan data yang didapat adalah sekitar 99,962 %.
- d. Hasil analisis yang didapat dari peluang keadaan mantap menjelaskan bahwa sepanjang waktu transformator dalam keadaan *on-line* terjadi peluang kondisi keadaan mantap sebanyak 99.9%.

2. Dengan hasil analisis metode Markov ini dapat memberikan kemudahan bagi tim perencanaan penjadwalan perawatan untuk melakukan evaluasi kinerja transformator, membuat peramalan, dan menampilkan simulasi penjadwalan perawatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ebeling, C.E., "An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering", McGraw-Hill Int., Singapore, 1997.
- [2] Faishal, A.R, Muhammad ., " Analisa Jenis Kegagalan Transformer Berdasarkan Hasil Uji Dga Dengan Metode Roger's Ratio PLTU Tambak Lorok", Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3] Farida, Lailiyana., " Analisis Kualitas Transformator Daya 150 kv/70 kv di GI Banaran Berdasarkan Hasil Pengujian Isolasi Minyak Menggunakan Metode Stokastik", Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2008.
- [4] Hudaya, A., "Deteksi dan Interpretasi Gangguan Transformator Berdasarkan Data Analisis Kimia Gas dalam Minyak Trafo", Majalah Energi & Listrik Vol. III.
- [5] Ramakumar, R. "Engineering Reliability", "Fundamentals and Applications", New Jersey, Englewood Cliffs, 1993.
- [6] Satryadi, IGN., " Analisis Penjadwalan Perawatan Minyak Insulasi Transformator Dengan Pemodelan Markov", Bandung, 2001.
- [7] Sinisuka, N.I., "Diktat Probabilitas dan Stokastik", Laboratorium Tegangan Tinggi dan Arus Tinggi, ITB, Bandung, 1999.
- [8] Sinisuka, N.I., "Evolusi Pemeliharaan Peralatan Listrik dan Penentuan Interval Pemeliharaan", Jakarta, 1999

Deteksi Dini Kondisi Minyak Trafo Dalam Keadaan Bertegangan Melalui Citra Termal Berbasis Transformasi Wavelet Dan Neural Network

20

Hardi Widyanto, Mauridhi Hery, Margo Pujiyantara

Teknik Elektro ITS, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: hardi.widyanto@pln.co.id

Abstrak— Untuk meningkatkan pelayanan PT. PLN Distribusi Jawa Timur kepada konsumen energi listrik selama ini perlu dijaga kontinuitas dari waktu ke waktu. Penyaluran energi listrik ke konsumen dari jaringan 20 KV selalu melewati transformator daya untuk menjadikan tegangan 220 Vac yang bisa dimanfaatkan oleh konsumen. Kendala yang terjadi transformator daya yang dalam kondisi bertegangan tidak bisa kita ketahui apakah transformator mengalami gangguan dapat dideteksi lebih dini, selama ini PT. PLN Distribusi Jawa Timur hanya mengadakan pemeliharaan rutin menurut jadwal waktu tertentu, dan sangat sulit mengetahui kondisi transformator yang mengalami gangguan bila diluar waktu pemeliharaan tersebut. Monitoring secara online transformator daya berbasis analisis penyebaran citra termal tersebut sangat diperlukan, terkait dengan kebutuhan penyaluran energi listrik secara kontinyu. Kendala yang muncul adalah sulitnya identifikasi dini kerusakan internal transformator dalam kondisi bertegangan. Dari simulasi yang dilakukan dari transformasi wavelet citra termal diketahui nilai sebagai ciri sebuah citra sebagai identifikasi kelas minyak trafo. Hasil identifikasi kelas menjadi data training neural network yang berguna untuk penentuan kondisi minyak trafo yang ada.

Kata Kunci— pengolahan citra digital, transformer, thermovision, Transformasi Wavelet, neural network.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan hal yang sangat penting disaat ini. Energi listrik dihasilkan oleh sebuah pembangkit listrik. Energi listrik ini harus disalurkan melalui jaringan distribusi PT. PLN Distribusi Jawa Timur sebagai salah satu perusahaan negara yang berhak untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit kepada pelanggan. Ketersediaan secara terus menerus penyaluran energi listrik merupakan hal yang sangat penting dalam distribusi listrik. Saat ini banyak terjadi gangguan pada transformator distribusi. Menyadari hal tersebut, penelitian untuk memonitoring kondisi transformator dalam keadaan bertegangan diharapkan dapat memberi sebuah solusi yang tepat. Dengan monitoring ini pengamatan bisa dilakukan setiap saat sesuai dengan yang diinginkan. Penelitian ini akan mencitrakan suhu dari transformator tersebut. Hasil citra tersebut akan ditransformasikan menggunakan wavelet dan akan diproses melalui neural network diharapkan akan membantu PT. PLN untuk mendeteksi dini kondisi minyak trafo untuk mengantisipasi kerusakan trafo sedini mungkin.

II. TEORI PENUNJANG

2.1 Transformator

26

Transformator ialah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilinya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh

2.1.1 Minyak Trafo

Minyak transformator digunakan sebagai isolasi dan pendingin transformator, oleh sebab itu kemurnian minyak transformator harus selalu diperhatikan. Disamping itu temperatur minyak transformator harus selalu di pantau karena dapat menyebabkan terjadinya pemuatan sehingga memungkinkan terjadinya kontaminasi akibat pertambahan volumenya. Faktor tersebut di atas menyebabkan rugi-rugi dielektrik yang dapat mengurangi kekuatan dielektrik minyak transformator sehingga mempercepat proses breakdown minyak transformator. Syarat yang harus dipenuhi oleh minyak trafo yang baik adalah

- Minyak harus dalam keadaan jernih (appearance)
- Massa jenis (density)
- Tegangan Tembus (Breakdown Voltage)
- Viscositas kinematik (kekentalan minyak)
- Titik Nyala (Flash Point)
- Titik Tuang (Pour Point)
- Angka Kenetralan (Neutralization Number)
- Korosi belerangka (Corrosiven Sulphur)
- Faktor kebocoran dielektrik
- Stabilitas oksidasi
- Kandungan air
- Tahanan Jenis
- Tegangan permukaan (interfacial tension)
- Kandungan Gas

2.2 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra adalah suatu bidang studi yang mempelajari proses pengolahan gambar, di 114 masukan maupun keluarannya berbentuk berkas citra digital. Pengolahan citra merupakan suatu proses pengolahan dan analisis citra yang banyak melibatkan

persepsi visual. Nilai estetis bukan hanya merupakan suatu kriteria yang digunakan didalam pengolahan citra. Jika algoritma yang digunakan dirancang untuk menghasilkan sejumlah informasi detil yang tidak terlihat dalam sebuah citra asli, maka dikatakan berhasil atau tidaknya hanya bergantung pada tampilan citra tersebut setelah diolah dan terlihat indah.

Pengenalan citra wajah disini menggunakan system berbasis citra yaitu informasi mentah dari piksel citra direpresentasikan dalam metode alihragam *wavelet* dan selanjutnya digunakan untuk pelatihan dan identitas citra. Beberapa operasi dalam pengolahan citra digital :

2.2.1 Operasi Aritmetika

Operasi ini menerapkan suatu fungsi

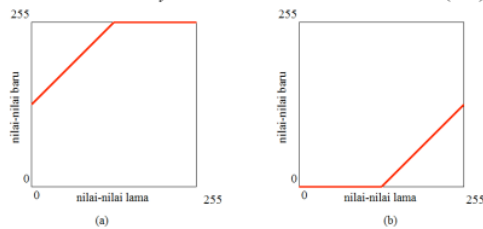
$$Y = f(x) \quad (2.1)$$

Disetiap nilai piksel pada suatu citra. Jadi $f(x)$ merupakan fungsi yang memetakan rentang 0 – 255 ke dalam dirinya sendiri. Fungsi sederhana termasuk penjumlahan atau pengurangan suatu nilai konstanta disetiap piksel

$$y = x \pm C \quad (2.1)$$

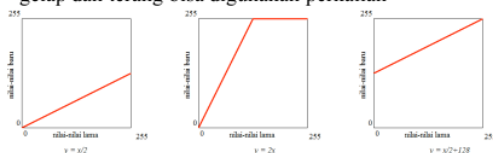
atau mengalikan setiap piksel dengan suatu konstan

$$y = xC \quad (2.3)$$



Gambar 1. Penjumlahan dan pengurangan piksel
(a) Penjumlahan 128 ke setiap piksel; (b) Pengurangan 128 dari setiap piksel

Perlu dipastikan bahwa keluaran harus berada dalam rentang integer 0 sampai 255 dengan cara pembulatan. Dari kedua grafik pemetaan tersebut bahwa penjumlahan citra dengan suatu konstanta membuat citra lebih terang sedangkan pengurangan akan menjadi lebih gelap. Untuk membuat citra menjadi gelap dan terang bisa digunakan perkalian



Gambar 2. Penggunaan perkalian dan pembagian

5

2.2.2 Histogram

Histogram merupakan grafik yang mengindikasikan 5 mlah kemunculan setiap level keabuan pada citra. Ada beberapa indikasi yang diambil dari histogram suatu citra :

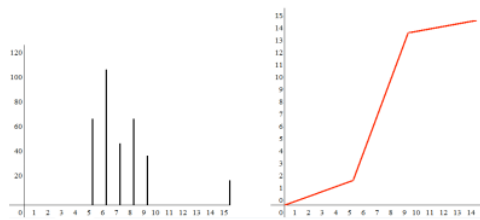
- Citra gelap, level keabuan histogram mengelompok pada bagian bawah
- Citra terang dan seragam, level keabuan histogram mengelompok pada bagian atas

- Citra dengan kontras signifikan, level keabuan histogram akan menyebar

Jika suatu citra berkontras jelek, ada dua cara untuk memperbaikinya yaitu pelebaran histogram dan ekualisasi histogram.

2.2.3 Pelebaran Histogram

Suatu citra dengan histogram seperti gambar 1, dengan suatu label frekuensi kemunculan n_i dari nilai-nilai keabuan. Level-level keabuan dapat dilebarkan atau ditarik menggunakan fungsi *piecewise linier*, seperti pada gambar 4. sebelah kanan.



Gambar 3. Level Keabuan Menggunakan Fungsi Piecewise Linier

2.2.3.1 Ekualisasi Histogram

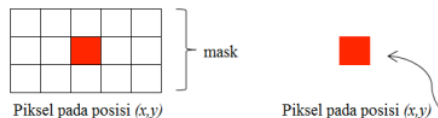
Pada pelebaran histogram terdapat masalah yaitu diperlukan masukan dari pengguna. Pendekatan yang tepat adalah menggunakan ekualisasi histogram yang secara otomatis keseluruhan prosedur dilakukan. Pada dasarnya yaitu mengubah histogram dari sebuah citra menjadi seragam, setiap grafik batang harus sama tinggi dan setiap level keabuan memiliki kemunculan frekuensi yang sama. Sebagai contoh citra memiliki sejumlah L level keabuan dari 0 sampai $L-1$ dan level keabuan i muncul sebanyak n_i kali pada citra. Dan jumlah total piksel citra tersebut adalah sejumlah n (sehingga $n_0 + n_1 + \dots + n_{L-1} = n$) atau untuk mendapatkan hasil yang lebih baik bisa menggunakan

$$\left(\frac{n_0 + n_1 + \dots + n_i}{n} \right) (L - 1) \quad (1)$$

Hasil dibulatkan ke *integer* terdekat.

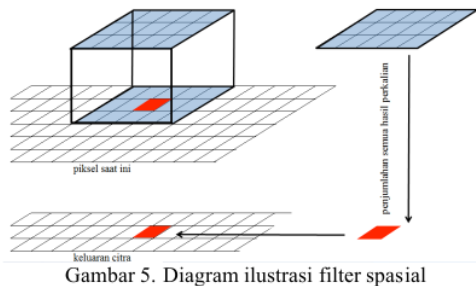
2.2.4 Pemrosesan Tetangga

Pemrosesan tetangga merupakan perkembangan dari pemrosesan titik, yaitu suatu fungsi dapat diterapkan terhadap tetangga dari setiap piksel. Pada dasarnya adalah untuk menggerakkan suatu 'mask' seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Kombinasi dari mask dan fungsi tersebut dinamakan filter. Jika fungsi-fungsi tersebut untuk menghitung nilai keabuan yang baru suatu fungsi linier maka filter tersebut merupakan filter linier.



Citra Asli
Citra setelah difilter
Gambar 4. Penggunaan mask pada citra

Filter linier dapat diimplementasikan dengan cara mengalikan semua elemen yang berada didalam mask dengan elemen sekitar piksel atau tetangga piksel dan dijumlahkan semua hasilnya.



Gambar 5. Diagram ilustrasi filter spasial

Filter spasial memerlukan beberapa langkah ;

1. Peletakan mask di area piksel yang ditinjau
2. Pengalihan semua elemen mask dengan piksel-piksel tetangga
3. Penjumlahan hasil

Konvolusi hampir sama dengan pemilteran. Metode yang dilakukan dalam pemilteran sama dengan metode yang dilakukan untuk konvolusi kecuali filter harus dirotasi 180 derajat sebelum dikalikan dan dijumlahkan. Piksel citra dirotasi sebesar 180 derajat yang tidak akan mempengaruhi hasil. Konvolusi berguna secara nyata dalam transformasi fourier dan pemrosesan sinyal digital. Mas filter secara rotasional simetrik sehingga konvolusi spasial dan filter spasial mengeluarkan hasil yang sama.

2.2.4.1 Notasi

Notasi merupakan hal yang sangat membantu filter linier diartikan dengan suku-suku koefisien semua nilai keabuan piksel yang berada dalam mask yang dapat dituliskan dalam matriks.

2.2.4.2 Tepi Citra

Dalam suatu filter terdapat permasalahan yang riil yaitu apa yang terjadi pada tepi citra, karena sebagian mask akan jatuh diluar citra. Ada dua cara untuk menangani hal tersebut :

- Mengabaikan tepi
Mask diterapkan pada piksel di dalam citra , mask secara utuh akan jatuh didalam citra yang artinya semua piksel selain tepi akan berukuran lebih kecil dari citra asli.
- Menyisipkan nol
Berlaku asumsi untuk nilai diluar citra adalah nol. Ini memberikan nilai yang dibutuhkan dan menghasilkan ukuran keluaran citra akan sama dengan citra asli.

2.2.4.3 Filter

Pengambilan fungsi citra pada frekuensi tertentu dan membuang fungsi citra pada frekuensi tertentu

2.3. Tranformasi Wavelet

Dalam analisa sinyal dan kompresi citra tranformasi wavelet memiliki peranan yang sangat besar, wavelet digunakan untuk mengekploitasi kompresi sebuah citra. Tingkat dari kompresi citra yang didapatkan bergantung watak kekompakan energi

dari tranformasi yang digunakan. Selain itu Wavelet memiliki watak rekonstruksi progresif yang menjadikan wavelet menjadi perangkat yang tangguh dalam kompresi citra.

Transformasi *wavelet* mulai diperkenalkan pada tahun 1980-an oleh Morlet dan Grossman sebagai fungsi matematis untuk merepresentasikan data atau fungsi sebagai alternatif transformasi-transformasi matematika yang lahir sebelumnya untuk menangani masalah resolusi. Sebuah *wavelet* merupakan gelombang singkat (*small wave*) yang energinya terkonsentrasi pada suatu selang waktu untuk memberikan kemampuan analisis transien, ketidakstasioneran, atau fenomena berubah terhadap waktu (*time varying*). Karakteristik dari *wavelet* antara lain adalah beresolusi singkat, translasi (pergeseran), dan dilatasi (skala). Bentuk Gelombang Sinus dan *Wavelet* Skala (dilatasi) dalam sebuah *wavelet* berarti pelebaran atau penyempitan *wavelet*.

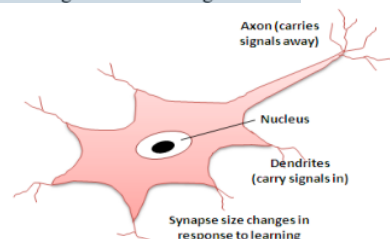
Pada dasarnya, transformasi *wavelet* dapat dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan nilai parameter translasi dan dilatasinya, yaitu *Continue Wavelet Transform (CWT)* dan *Discrete Wavelet Transform (DWT)*. Transformasi *wavelet* kontinu ditentukan oleh nilai parameter dilatasi (a) dan translasi (b) yang bervariasi secara kontinu, dimana $a, b \in \mathbb{R}$ dan $a \neq 0$. *Continue Wavelet Transform (CWT)* menganalisis sinyal dengan perubahan skala pada *window* yang dianalisis, pergeseran *window* dalam waktu dan perkalian sinyal serta mengintegral semuanya sepanjang waktu. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$CWT(a, b) = \int f(t) \Psi_{a,b} * (t) dt \quad (2)$$

dimana $\Psi_{a,b}(t)$ seperti pada persamaan diatas . Transformasi *wavelet* diskrit bertujuan untuk mengurangi redundansi yang terjadi pada transformasi *wavelet* kontinu dengan cara mengambil nilai diskrit dari parameter a dan b . Transformasi *wavelet* diskrit menganalisa suatu sinyal dengan skala yang berbeda dan merepresentasikannya ke dalam skala waktu dengan menggunakan teknik *filtering*, yakni menggunakan *filter* yang berbeda frekuensi *cut-off*-nya.

2.4 Neural Network

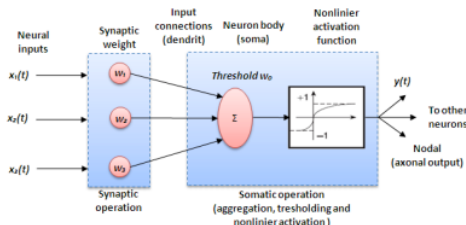
Pembuatan struktur *Neural Networks* diilhami oleh struktur jaringan *bid* 20 i, khususnya jaringan otak manusia. Neuron adalah satuan unit pemroses terkecil pada otak, bentuk sederhana sebuah neuron yang oleh para ahli dianggap sebagai satuan unit pemroses tersebut digambarkan sebagai berikut.



Gambar 6. Struktur sederhana sebuah neuron

23

Tiruan neuron dalam struktur neural networks adalah elemen pemroses seperti pada gambar 3 yang dapat berfungsi seperti halnya sebuah neuron. Sejumlah sinyal masukan x dikalikan dengan masing-masing penimbang yang sesuai dengan W . Kemudian dilakukan penjumlahan dari seluruh hasil perkalian tersebut dan keluaran yang dihasilkan dilakukan kedalam fungsi pengaktif untuk mendapatkan tingkatan derajat sinyal keluarannya $F(x.W)$. Walaupun masih jauh dari sempurna, namun kinerja dari tiruan neuron ini identik dengan kinerja dari sel biologi yang dikenal saat ini.



Gambar 7. Model tiruan sebuah neuron

III. PENGAMBILAN DATA, SEGMENTASI, TRANSFORMASI WAVELET DAN NEURAL NETWORK

3.1 Pengambilan Data Citra

Pada saat pengambilan data dilakukan standarisasi jarak pengambilan citra yang presisi, jarak yang diambil adalah jarak : 2 meter, 3 meter, 4 meter, 5 meter dan 6 meter dari sudut pengambilan 90 derajat (depan body trafo), 45 derajat (depan samping trafo) dan 180 derajat (samping trafo), dalam pengambilan data juga dilengkapi dengan environment meter untuk mengukur besaran *humadity*, *lux light*, *Sound level* serta suhu pada ruangan tersebut.

Supaya mendapatkan hasil data citra yang berkualitas digunakan tripod kamera, pengambilan data citra bertahap dari jenis minyak trafo pada level 3, 5, 6 dan 6.5



Gambar 8. Kamera Thermovision FLIR T250.

3.2 Pengujian Minyak Transformator

Sebelum melakukan percobaan maka dilakukan pemilihan minyak transformator. Pemilihan minyak transformator didasarkan pada hasil test *breakdown voltage*. Dalam penentuan jenis minyak, PT.

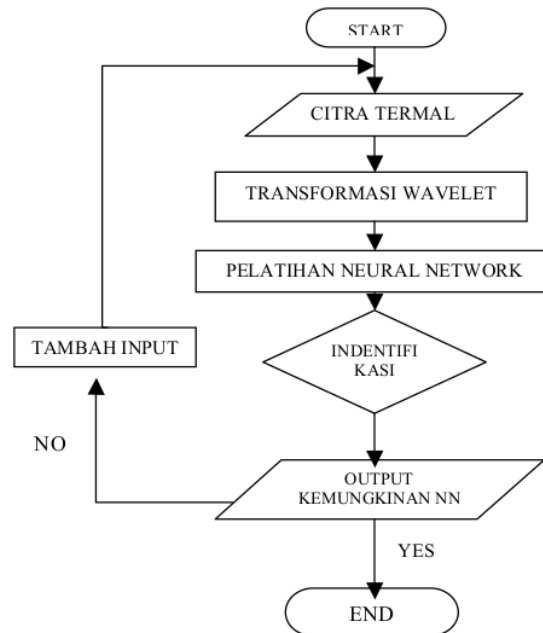
Mulyajatra memiliki 7 referensi minyak. 7 jenis minyak tersebut mempunyai nilai *breakdown voltage* yang berbeda.

3.3 Pemberian Beban pada Transformator

Pemberian beban pada transformator bertujuan untuk mendapatkan data arus. Data arus diambil dari sisi sekunder transformator. Beban yang dipasang pada transformator ini adalah resistif murni 3 fasa. Pembebanan transformator ada 2 jenis yaitu pembebanan seimbang dan pembebanan tidak seimbang. Beban resistif murni dalam hal ini adalah load bank berkapasitas 60kVA dengan $\cos \theta = 1$. Namun, transformator pada penelitian ini hanya berkapasitas 25 kVA, jadi tidak semua beban digunakan.

3.3 Menentukan Fitur Data

Sebelum mengaplikasikan fungsi-fungsi untuk training, perlu untuk mengetahui bahwa data yang kita dapatkan cukup. Kita tidak dapat berharap mendapatkan model yang baik dari data yang buruk atau tidak memadai. Dalam hal ini tidak ada prosedur standar yang dapat digunakan untuk menguji data yang kita miliki.



Gambar 9. Diagram Alir Deteksi Kondisi Minyak Trafo

Data-data citra thermal yang diperoleh dari proses pengambilan data dikelompokkan menjadi dua. Data pertama merupakan data yang nantinya akan digunakan sebagai masukan dalam proses pembelajaran IST. Data kedua merupakan data pengujian untuk mengetahui unjuk kerja Neural Network yang digunakan. Selanjutnya masing-masing kelompok data diolah menggunakan *discrete 2-D wavelet transform* (DWT) untuk mendapatkan *feature extraction* bentuk gelombang

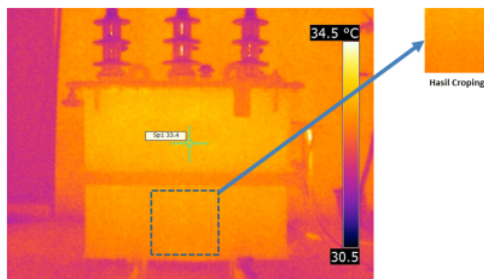
masing-masing data citra. Langkah ini adalah langkah awal yang penting dalam monitoring dan deteksi dini kondisi minyak trafo karena dapat mereduksi jumlah sampling sehingga dapat mempercepat proses kalkulasi dalam pelatihan.

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Pada bagian ini, berisi tentang hasil simulasi dan analisa hasil simulasi dari program menggunakan matlab.

4.1 Segmentasi Citra

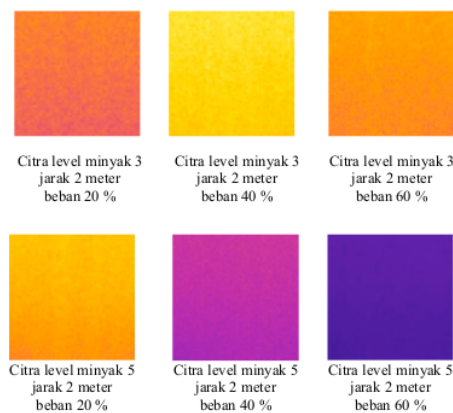
Dari hasil pengambilan citra dilakukan pemilihan *ROI (Region of Interest)* yang nantinya akan menjadi standart pengolahan data. Dari data citra yang ada ditentukan posisi ROI yaitu dibagian dasar dari body trafo menggunakan dimensi 256x256 pixel.



Gambar 10. Cropping data ROI

Hasil cropping menggunakan dimensi 256x256 karena dengan ukuran ini, kita dapat mengoptimalkan penggunaan memory serta menyederhanakan sistem pengamatannya yang berdampak pada peningkatan kecepatan pemrosesan.

4.1.2 Hasil cropping data



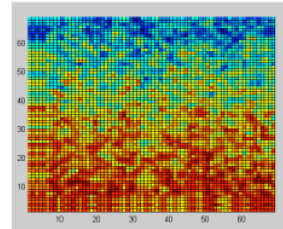
Gambar 11. Hasil Cropping ROI

4.2 Transformasi wavelet

Dari data citra asli didapatkan hasil tranformasi wavelet menjadi 69x69 piksel sebagai berikut



Gambar 12. Perbandingan hasil tranformasi



Gambar 13. Hasil transformasi checkerboard plot

Sebagai perbandingan diambil data dari lapangan sesuai table 39. Yaitu pengambilan dilakukan pada trafo daya 100kVA yang pengambilan datanya dari jarak 7 meter, beban yang hamper dan dibedakan berdasarkan lama dari trfao tersebut beroperasi, didapatkan hasil yang lebih akurat karena pembebanan dilakukan dengan interval waktu yang cukup lama.

Tabel 1. Hasil Mean Proses Transformasi Wavelet

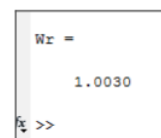
0 tahun	1 tahun	2 tahun	3 tahun
1015.23	1016.24	1017.45	1017.50

4.3 Neural network

Informasi-informasi yang diperoleh dari tranformasi wavelet akan diolah dalam *neural network*, adapun beberapa parameter *neural network* ditentukan:

Jumlah data (n) = 4
 Jumlah variable input = 1
 Jumlah kelas atau cluster = 7
 Max epoch = 200
 Learning rate = 0.7

Berikut adalah hasil percobaan program *neural network* dari data inputan minyak level satu dan hasilnya *neural network* dapat mengidentifikasi level minyak trafo dari inputan yang dimasukkan.



Gambar 14. Hasil Uji Minyak Trafo

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan simulasi untuk mengidentifikasi level minyak trafo. Keakuratan data citra termal saat pengambilan data sangat berperan penting untuk menunjukkan hasil identifikasi yang baik. Pengidentifikasian ini cocok digunakan perusahaan listrik negara untuk membantu menangani deteksi dini kerusakan trafo. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini :

1. Data citra termal untuk identifikasi level minyak
2. Penggunaan hasil transformasi wavelet daubechies sebagai inputan sangat tepat untuk kompresi citra dalam menganalisa
3. Pelatihan *neural network* tepat sebagai sarana kecerdasan buatan pendeteksian level minyak pada *transformator*

5.2 Saran

1. Pengambilan data citra diambil dalam berbagai variasi yang berbeda, dari suhu, environment meter sampai dengan tanggal pengoperasian secara real dilapangan.
2. Ditambahkan parameter-parameter lain sebagai pembeda atau ciri untuk masukan dalam training neural network.
3. Hasil pengidentifikasian level minyak trafo menggunakan trafo sebagai identifikasi dini kerusakan pada trafo

UCAPAN TERIMA KASIH

“Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. PLN Area Mojokerto dan PT. Mulyajatra yang telah membantu secara materi, perlengkapan pengambilan data, dan tempat percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wu Dongmei. “Automatic Detection of Oil Level of Transformer Oil Conservator Based on Infrared Image Segmentation Technology”, Communication and Information Institute, Xi'an University of Science & Technology, 2011, 4
- [2] Hana Kuchynkova and Vitezslav Hajek, “Taking Advantage of Infrared Camera for Temperature Measurement of Asynchronous Chinese” MIPRO, 2010, 5
- [3] N.Y. Utami*, Y. Tamsir, A. Pharmatrisanti, H. Gumilang, B. Cahyono, R. Siregar, “Evaluation Condition of Transformer Based on Infrared Thermography Results”, 2009, 4
- [4] R. Blue, D. Uttamchandani, “Infrared Detection of Transformer Insulation Degradation Due to Accelerated Thermal Aging”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1998
- [5] Phiphat Laohasongkram, Jakkrit Junsiri, and Jakkrit Oupayaso, “Application of Thermal Detector by Infrared for Electrical Arch Furnaces Transformer”, 2007
- [6] Mariusz Litwa “Influence of Angle of View on Temperature Measurements Using

Thermovision Camera” IEEE SENSORS

47 JURNAL, VOL. 10, 2010

- [7] Mauridhi Hery Purnomo, Agus Kurniawan, “Supervised Neural Networks dan Aplikasi” Graha Ilmu, 2006
- [8] Zhao, Wang Mei, HU Bo-ning, LIAN Hua, “Digital Image Watermarking Algorithm Based On Wavelet Transform”, IEEE Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 2009
- [9] Dr. B Pahlavampour, Dr. A Wilson, “Analysis Of Transformer Oil For Transformer Condition Monitoring”, 1994
- [10] Herawati, “Pengenalan Wajah Menggunakan Alihgram Wavelet Daubechies Sebagai Pengolah Awal” Jurnal, Vol. 01, 2005
- [11] Pusdiklat PLN, “Teori Trafo” 2007
- [12] Multiresolution mammogram analysis in multilevel decomposition, Essam A. Rashed, Ismail A. Ismail, Sherif I. Zaki

Distribusi probabilitas tembus susunan elektroda sela bola sebagai pembatas tegangan lebih pada peralatan listrik tegangan rendah

⁽¹⁾Maria Bertha Melsadalam, ⁽²⁾Daud Obed Bekak, ⁽³⁾Moch.Dhofir

⁽¹⁾Politeknik Negeri Ambon,

⁽²⁾Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Kupang

⁽³⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

E-mail: Mariamelsadalam@gmail.com, daudobed@yahoo.com dan dhofir@ub.ac.id

Abstrak – Susunan elektroda bola dengan sela udara (sela bola) dapat dimanfaatkan sebagai alat pemotong tegangan lebih surja petir. Dalam penelitian ini, sela bola digunakan untuk memproteksi peralatan listrik tegangan rendah 220/380V. Ada empat diameter bola yang diteliti, yaitu 40 mm, 30 mm, 20 mm dan 10 mm. Dalam penelitian dicari jarak sela bola yang memberikan level proteksi 6 kV. Menurut standar DIN VDE 0675/IEC Publ.664 peralatan proteksi pada level ini untuk memproteksi peralatan listrik dalam kategori IV. Distribusi probabilitas tembus kurva volt-waktu dari sela bola penting untuk mendapatkan koordinasi yang sempurna dengan peralatan listrik yang diamankan. Susunan elektroda bola berdiameter 10 – 40 mm dan jarak sela 1.96 mm dapat digunakan untuk memberikan level proteksi 6 kV pada peralatan listrik kategori IV. Tegangan kepastian tembus sela bola sebesar 6,08 kV dengan simpangan baku 0,12 kV. Respon pemotongan gelombang oleh sela bola terjadi pada bagian muka gelombang.

Kata Kunci : Distribusi probabilitas, Sela bola, proteks, tegangan lebih

I. PENDAHULUAN

Pada kondisi standar, isolasi udara memiliki kekuatan dielektrik 28 – 30 kV/cm. Oleh karena itu udara diantara dua elektroda mampu menahan tegangan tertentu tergantung pada jarak sela udara dan bentuk elektrodanya. Bentuk elektroda menentukan homogenitas distribusi medan listrik dalam ruang diantara sela elektroda.

Susunan elektroda bola dengan sela udara (sela bola) dengan jarak sela tidak lebih dari 0,5 diameter bola, menghasilkan distribusi medan listrik yang relatif homogen. Bila medan diantara elektroda bola adalah homogen, maka besarnya tegangan tembus berbanding lurus dengan perkalian jarak sela dan kekuatan dielektrik udara^[1]. Hubungan ini selanjutnya dijadikan dasar dalam menentukan jarak sela yang sesuai agar sela bola memberikan level proteksi 6 kV bagi peralatan listrik dalam kategori IV sesuai standar DIN VDE 0675/IEC Publ.664.

Probabilitas tembus dari sela bola juga akan diteliti untuk mendapatkan tegangan kepastian tembus (U_{4-95}) dan tegangan ketahanan (U_{4-5}) melalui pendekatan pengujian laboratorium dan pendekatan statistik-probabilistik.

Karakteristik volt-waktu ($V-t$ Curve) untuk mengetahui respon sela bola terhadap pemotongan tegangan surja petir juga diteliti. Pengujian di laboratorium menggunakan gelombang tegangan surja petir 1,2/50 μ s.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tegangan tembus pada dielektrik gas ditentukan oleh kekuatan dielektrik gas, bentuk elektroda dan jarak sela antara elektroda. Pada kondisi standar kekuatan dielektrik udara sebesar 28 – 30 kV/cm. Bentuk elektroda mempengaruhi distribusi medan listrik di dalam ruang. Hubungan tegangan tembus di antara susunan elektroda diberikan oleh^[1],

$$U_d = E_d s \eta \quad (1)$$

dengan E_d -kekuatan dielektrik gas, s -jarak sela, dan η -efisiensi medan. Efisiensi medan sebagai ukuran homogenitas dari suatu susunan elektroda. Susunan elektroda dikatakan homogen sempurna apabila intensitas medan maksimum sama dengan intensitas medan rata-rata di dalam ruang atau susunan elektroda memiliki nilai efisiensi sama dengan 1. Rumus untuk efisiensi medan adalah,

$$\eta = \frac{E_r}{E_m} \quad (2)$$

Dari persamaan (2) dapat dipahami bahwa pada susunan homogen dengan $\eta = 1$, tegangan tembus berbanding lurus dengan jarak sela elektroda dan kekuatan dielektrik gas. Susunan homogen dapat diberikan oleh elektroda sela bola atau elektroda sela piring sejajar. Namun homogenitas sela bola atau piring sejajar dapat menurun apabila jarak selanya bertambah besar^[2].

Proses tembus di dalam gas sangat tergantung pada keberadaan satu electron di udara dan tingkat tegangan antara elektroda. Namun karena keberadaan electron di antara elektroda bersifat probabilistik, maka kejadian tembus pada gas juga bersifat probabilistik. Untuk jumlah pengujian yang representative, probabilitas tembus pada gas dapat didekati sebagai distribusi normal. Apabila tegangan tembus rata-rata (μ), simpangan baku tegangan tembus (σ) diketahui, maka probabilitas tembus untuk sembarang tegangan u_i adalah^[3],

$$f(u_i; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(u_i - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

dimana,

$$\mu = \frac{\sum n_i u_i}{\sum n_i} \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{\sum n_i - 1} (u_i - \mu)^2} \quad (5)$$

n_i : jumlah sukses tembus sela bola pada tegangan u_i

n : Jumlah penerpaan tegangan u_i

Probabilitas tembus diskrit dapat dihitung menggunakan persamaan,

$$P(u_i) = \frac{n_i}{n} \quad (6)$$

Dari fungsi distribusi probabilitas dalam persamaan (3) dapat ditentukan probabilitas tembus untuk sembarang nilai tegangan surja tertentu yang mengenai sela bola. Dengan distribusi ini dapat diperoleh tegangan kepastian tembus ($U_{d.95}$) sela bola yang memberikan probabilitas tembus sebesar 95%. Dari distribusi yang sama juga diperoleh tegangan ketahanan ($U_{d.5}$) sela bola yang memberikan probabilitas tembus sebesar 5%. Tegangan-tegangan ini penting karena menjamin bahwa pada tegangan tertentu sela bola pasti tembus atau pasti tidak tembus. Tegangan $U_{d.95}$ sela bola selanjutnya harus dibuat sama dengan 6 kV sebagai level proteksi menurut standar DIN VDE 0675/IEC Publ.664.

Dalam koordinasi yang sempurna, tegangan pasti tembus dari sela bola harus sama atau lebih kecil dari tegangan pasti tidak tembus dari peralatan listrik^[4].

Kurva volt-waktu merupakan tempat kedudukan titik-titik (t_d , U_d). Simbol t_d menyatakan waktu pemotongan gelombang surja tegangan dan U_d adalah nilai tertinggi tegangan terpotong. Grafik volt-waktu ($V-t$ curve) digambarkan dalam salib sumbu, dengan waktu sebagai sumbu horizontal dan tegangan terpotong sebagai sumbu tegaknya.

Untuk koordinasi proteksi yang sempurna, grafik volt-waktu dari peralatan listrik yang diamankan seluruhnya harus terletak di atas grafik volt-waktu dari sela bola.

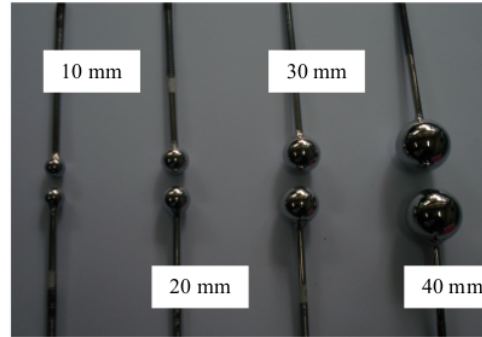
Distribusi medan di antara sela bola digambar dengan bantuan perangkat lunak FEMM. Distribusi medan ini untuk membantu mengetahui homogenitas medan di antara sela bola.

III. METODOLOGI

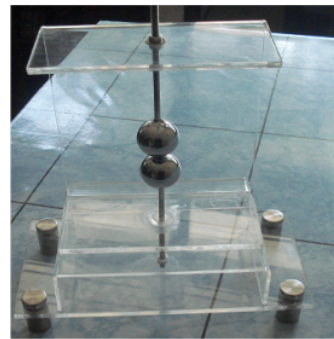
A. Obyek Uji

Obyek uji dalam penelitian ini berupa susunan elektroda berbentuk bola dengan sela udara (sela bola). Ada empat diameter bola, yaitu 40 mm, 30 mm, 20 mm, dan 10 mm seperti ditunjukkan pada Gambar-1.

Agar jarak sela elektroda bola dapat diatur dengan mudah, selanjutnya sela bola ditaruh dalam wadah pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar-2.



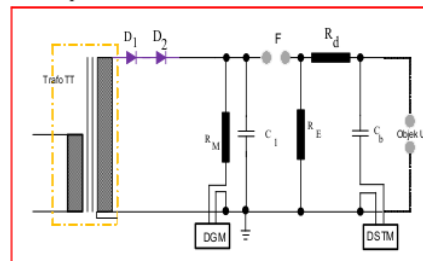
Gambar-1 Sela bola dengan beberapa diameter



Gambar-2 Sela bola wadah pengujian

B. Pengujian

Rangkaian pengujian sela bola dengan menggunakan tegangan uji berbentuk gelombang impuls eksponensial ganda dengan tipe 1,2/50 μ s diberikan pada Gambar-3.



Gambar-3 Rangkaian pengujian sela bola

Keterangan :

$D_1 = D_2 = 140 \text{ kV}/20 \text{ mA}$.

$R_d = 100 \text{ k}\Omega/60 \text{ W}$

$R_M = 610 \text{ }\Omega/60 \text{ W}$

$R_E = 260 \text{ }\Omega/60 \text{ W}$

$C_1 = 10000 \text{ pF}$

$C_b = 1200 \text{ pF}$

Obyek uji : Sela bola

Rangkaian pengujian pada Gambar-3 terdiri dari tiga unit pembangkit, pertama adalah transformator untuk menaikkan tegangan rendah menjadi tegangan tinggi ac hingga 100 kV efektif. Selanjutnya, tegangan tinggi ac dari trafo disearahkan oleh dioda penyearah tegangan tinggi menjadi tegangan tinggi dc. Tegangan tinggi dc diukur menggunakan prinsip pembagi resistif (R_M) dan dibaca melalui alat ukur DGM. Tegangan

tinggi dc pada kapasitor C_i selanjutnya dilepas dengan mentrigger sela F. Muatan pada C_i selanjutnya mengisi kapasitor C_b melalui R_d dan sebagian lagi dialirkan ke tanah melalui R_E . Tegangan impuls yang dihasilkan pada terminal kapasitor C_b juga dirasakan oleh sela bola sebagai obyek uji. Bila tegangan surja melampaui tegangan kerjanya, maka sela bola akan memotong tegangan surja.

Nilai tertinggi dari gelombang tegangan yang terpotong dapat dibaca melalui DSTM dan bentuk gelombang terpotongnya direkam menggunakan osiloskop. Melalui rekaman gelombang, dapat ditentukan waktu pemotongan gelombangnya. Dari pengujian ini diperoleh satu titik uji dengan pasangan satu nilai waktu potong dan tegangan potongnya. Dengan menggunakan amplitude gelombang yang ditingkatkan, akan didapatkan beberapa titik pengujian yang berbeda. Dari titik-titik uji ini selanjutnya dapat digambarkan grafik volt-waktu sela bola.

Distribusi probabilitas dapat diperoleh melalui pengujian laboratorium. Suatu tingkat tegangan surja dengan amplitudo tertentu (u_i) diterapkan pada sela bola sebanyak n kali. Apabila dari n kali terpaan, ternyata ada n_i kali terjadi tembus, maka probabilitas tembus untuk tegangan tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan (6).

Pengujian dapat dilakukan berulang kali dengan amplitudo tegangan impuls yang berbeda-beda. Dari sejumlah data pengujian ini selanjutnya dapat dihitung rata-rata dan simpangan baku dari tegangan tembus sela bola.

Dengan menggunakan nilai rata-rata dan simpangan baku dari hasil pengujian, selanjutnya dapat ditemukan persamaan distribusi probabilitas tembus untuk sela bola. Dengan persamaan distribusi ini kemudian dapat ditemukan tegangan pasti tembus dan tegangan tidak pasti tembus dari sela bola.

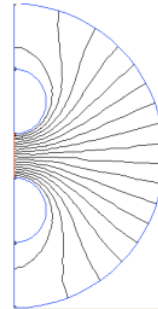
IV. ANALISIS DAN DISKUSI

A. Penentuan jarak sela bola

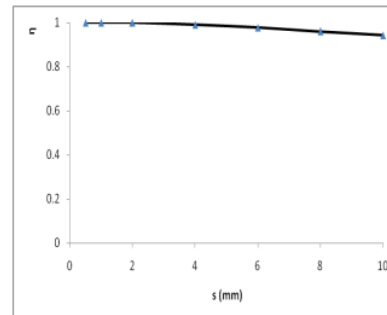
Penentuan jarak sela bola s awalnya didekati menggunakan perhitungan. Pada kondisi standard dan dalam medan homogen, udara akan tembus pada 30 kV/cm atau pada 3 kV/mm. Dengan demikian susunan elektroda bola dengan jarak sela 2 mm akan tembus pada tegangan 6 kV. Dengan demikian asumsi bahwa medan homogeny dapat dibenarkan karena dipenuhi bahwa jarak sela 2 mm lebih kecil dari setengah diameter bola terkecil, yaitu 5 mm.

Dengan menggunakan simulasi FEMM, distribusi garis ekipotensial diantara elektroda bola dapat diperoleh seperti pada Gambar-4.

Dari hasil simulasi didapatkan grafik hubungan efisiensi medan sela bola dengan jarak sela seperti pada Gambar-5. Dari grafik ini dapat diperoleh bahwa pada jarak sela 2 mm, efisiensi medan sela bola adalah 1. Dengan demikian sela bola untuk semua diameter adalah susunan elektroda medan homogen.



Gambar-4 Garis ekipotensial antara elektroda bola



Gambar-5 Grafik hubungan efisiensi medan dan jarak sela

B. Penentuan fungsi probabilitas dan U_{d-95}

Nilai pendekatan jarak sela bola 2 mm ini harus diuji untuk memastikan apakah telah memenuhi. Bila belum memenuhi, maka langkah berikutnya harus dilakukan pengujian tembus dengan variasi jarak sela di sekitar 2 mm. Data pengujian ini selanjutnya dicari persamaan regresinya. Dari persamaan ini kemudian dapat ditentukan pendekatan jarak sela yang baru. Hasil pengujian tembus dengan variasi jarak sela diberikan pada Tabel-1.

Tabel-1 Pengujian tembus sela bola, $D = 30$ mm

No	s (mm)	η	U_d (kV)
1	0.5	1.00	1.58
2	1	1.00	3.50
3	2	1.00	6.14
4	4	0.99	11.88
5	6	0.98	17.59

Jarak sela dikoreksi dengan menggunakan trend,

$$U_d = 2.8734 s + 0.3798$$

Untuk $U_d = 6$ kV didapat jarak sela $s = 1.96$ mm. Hasil pengujian dengan jarak sela 1.96 mm untuk diameter bola yang lain diberikan pada Tabel-2.

Tabel-2 Tegangan tembus sela bola dengan $s = 1.96$ mm

No	D (mm)	η	U_d (kV)
1	10	1.00	6.03
2	20	1.00	6.14
3	30	1.00	6.15
4	40	1.00	6.20

Dari Tabel-2, tegangan tembus pada jarak sela 1.96 mm mm menurun pada diameter bola semakin kecil.

Pergeseran nilai tegangan tembus ini disebabkan oleh penurunan heterogenitas susunan elektroda bola pada bola dengan diameter yang kecil.

Dengan jarak sela bola 1.96 mm dan $D = 30$ mm, selanjutnya diuji probabilitas tembusnya dan hasilnya diberikan pada Tabel-3.

Tabel-3 Pengujian probabilitas tembus $s = 2$ mm, $D = 30$ mm

No	U_i (kV)	n	n_i	$P(U_i) - \%$
1	5.61	10	0	0
2	5.67	10	1	10
3	5.78	10	4	40
4	5.87	10	6	60
5	5.96	10	7	70
6	6.02	10	9	90
7	6.14	10	10	100

Dengan menggunakan persamaan (4) dan (5), nilai rata-rata dan simpangan baku tegangan tembus dalam Tabel-3 dapat dihitung, berturut-turut adalah

$$\mu = 5,79 \text{ kV}$$

$$\sigma = 0,12 \text{ kV}$$

Dengan menggunakan nilai μ dan σ dan persamaan (2) maka persamaan probabilitas tembus sela bola dengan jarak sela 1.96 mm dan diameter 30 mm adalah,

$$f(u_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(0.12)^2}} e^{-\frac{(u_i - 5.79)^2}{2(0.12)^2}}$$

$$f(u_i) = 95\%$$

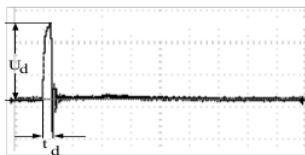
$$u_i = 6,08 \text{ kV}$$

Selanjutnya tegangan 6,08 kV sebagai tegangan kepastian tembus sela bola dengan jarak sela 1.96 mm dan $D = 30$ mm, atau $U_{d-95} = 6,08$ kV. Nilai ini masih dalam rentang $U_{d-95} - \sigma$ dan $U_{d-95} + \sigma$.

C. Penentuan kurve volt-waktu

Tegangan impuls dengan beberapa amplitudo kemudian dapat diterapkan pada sela bola. Pemotongan gelombang tegangan impuls oleh sela bola ditunjukkan pada Gambar-6.

Gelombang pada Gambar-6 terpotong dalam waktu t_d dengan nilai tertinggi tegangan potongnya adalah U_d . Pengujian ini diulangi dengan amplitudo gelombang yang meningkat dan hasilnya diberikan pada Tabel-4.



Gambar-6 Respon pemotongan gelombang impuls oleh sela bola

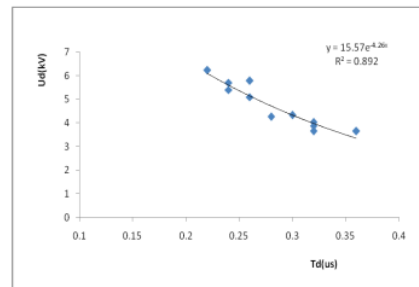
Tabel-4 Tegangan potong dan waktu potong

No	U_i (kV)	t_d (μ s)
1	3.65	0.36
2	3.65	0.32
3	3.88	0.32
4	4.03	0.32
5	4.33	0.3
6	4.26	0.28
7	5.09	0.26
8	5.39	0.24
9	5.7	0.24
10	5.78	0.26
11	6.23	0.22

Data-data pasangan tegangan dan waktu potong pada Tabel-4 selanjutnya dapat dinyatakan dalam bentuk grafik volt-waktu seperti ditunjukkan pada Gambar-7.

Dari grafik volt-waktu dapat dilihat bahwa gelombang tegangan impuls dengan amplitudo yang semakin tinggi akan dipotong pada tegangan potong yang semakin tinggi juga, tetapi terjadi dalam waktu yang semakin singkat. Hal ini diperlihatkan bahwa tidak ada satupun waktu potong yang melebihi dari 1,2 μ s yang didefinisikan sebagai waktu muka.

Pemotongan gelombang oleh sela bola juga terjadi pada bagian muka gelombang, yang berarti sebagian kecil energi tetap dilalukan pada peralatan listrik, tetapi tidak sudah tidak berbahaya.



Gambar-7 Grafik volt-waktu sela bola

V. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dari kegiatan penelitian ini adalah:

1. Susunan elektroda bola berdiameter 10 – 40 mm dan jarak sela 1.96 mm dapat digunakan untuk memberikan level proteksi 6 kV pada peralatan listrik kategori IV.
2. Tegangan kepastian tembus sela bola sebesar 6,08 kV dengan simpangan baku 0,12 kV.
3. Respon pemotongan gelombang oleh sela bola terjadi pada bagian muka gelombang.
4. Semakin tinggi amplitudo gelombang, maka nilai tertinggi tegangan potongnya juga semakin tinggi, tetapi dipotong dalam waktu yang semakin singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kind,D.1993.*Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Penerbit ITB, Bandung
- [2] Kuffel ,E., Zaengl,W.S.2000. *High Voltage Engineerin, Fundamentals* . Pergamon Press, New York, 1984
- [3] Wadhwa.C.L .2007. *High Volltage Enginering*.University of delli
- [4] Dhofir, M .2010.*Koordinasi Isolasi Sela Elektroda Bola Dan Sela Elektroda Batang Menggunakan Pendekatan Statistik*, Proceeding. ECCIS.UB.Malang

11

Pengaruh Harmonisa Beban Nonlinier Rumah Tangga Terhadap Hasil Penunjukan kWh Meter Digital 1 Fasa

Soemarwanto¹, Soepr², Arfinna Cahyani³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: prapto1056@gmail.com

Abstrak—Semakin banyaknya penggunaan peralatan listrik yang bersifat nonlinier menyebabkan semakin banyak harmonisa pada jaringan. Komponen harmonisa yang ditimbulkan berasal dari beban nonlinier tidak terkecuali pada beban-beban rumah tangga. Pada penelitian ini dianalisis seberapa besar pengaruh harmonisa beban nonlinier rumah tangga terhadap hasil penunjukan alat ukur kWh meter digital. Dari hasil pengujian dan analisis perhitungan terbukti bahwa kesalahan hasil penunjukan alat ukur kWh digital dapat terjadi akibat adanya komponen harmonisa yang ditimbulkan. Penjumlahan daya fundamental dan komponen harmonisa membuat pengukuran daya yang terukur menjadi tidak sesuai dengan hasil penunjukan alat ukur kWh Meter Digital. Penjumlahan kedua komponen daya ini menunjukkan daya yang sebenarnya terpakai sehingga dapat diketahui kerugian oleh adanya harmonisa akibat beban-beban rumah tangga yang bersifat nonlinier.

Kata Kunci—Beban Nonlinier, Harmonisa, THD (Total Harmonic Distortion), kWh meter digital.

IV. PENDAHULUAN

Di zaman modern ini, alat-alat rumah tangga telah banyak menggunakan rangkaian komponen elektronika daya, seperti televisi dengan monitor LED, komputer/laptop, kipas angin, *air conditioner*(AC), printer, lampu hemat energi dan peralatan listrik lainnya. Peralatan tersebut merupakan beban nonlinier yang dapat menyebabkan munculnya arus / tegangan dengan besar frekuensinya melebihi besarnya frekuensi fundamental atau kelipatannya yang disebut frekuensi harmonik atau harmonisa. Harmonisa yang muncul akibat adanya beban-beban nonlinier tersebut terhubung ke sistem distribusi dan memberikan dampak atau pengaruh yang tidak baik pada sistem ketenagalistrikan tidak terkecuali pada ukur pemakaian energi listrik yaitu kWh meter digital.

Prinsip kerja kWh meter digital secara umum yaitu mengkonversi sinyal analog tegangan dan arus yang terukur menjadi sinyal digital atau diskrit dengan mengambil nilai-nilai sampel (menyampling) dari sinyal analog tegangan dan arus secara periodik setiap periode sampling, sehingga konsumsi energi listrik dapat diketahui dari perhitungan proses perkalian arus dan tegangan setiap selang waktu (*sampling time*) tertentu. Dengan prinsip kerja kWh meter digital yang diketahui tersebut dan makin banyaknya

peralatan rumah tangga yang merupakan beban nonlinier, maka pada penelitian ini akan diteliti pengaruh hasil penunjukan kWh meter digital terhadap beban-beban yang nonlinier.

V. HARMONISA DALAM PENGUKURAN DAYA ELEKTRIK

D. Daya dan Energi Listrik

Dalam rangkaian listrik, daya dan energi merupakan suatu besaran yang penting. Daya listrik pada suatu elemen adalah hasil kali dari tegangan dan arus yang mengalir pada elemen tersebut. Daya rata-rata P yang diberikan pada rangkaian adalah: [1]

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (1)$$

Umumnya simbol W sebagai tenaga keseluruhan juga didefinisikan sebagai energi listrik dengan simbol E yang dapat dirumuskan sebagai berikut: [2]

$$E = V \times I \times \cos \phi \times t \quad (2)$$

E. Alat Ukur kWh Meter Digital

kWh meter digital merupakan suatu alat pengukuran yang memiliki fungsi utama sama seperti kWh meter analog, yakni mengukur jumlah pemakaian energi atau jumlah pemakaian daya dalam satuan waktu. Jika pada kWh meter analog bekerja berdasarkan induksi, kWh meter digital bekerja berdasarkan program yang dirancang pada mikroprosesor yang terdapat di dalam piranti kWh meter digital tersebut. Pada prinsipnya, sebuah kWh meter digital akan mengkonversi sinyal analog tegangan dan arus yang terukur menjadi sinyal digital atau diskrit dengan mengambil nilai-nilai sampel (menyampling) dari sinyal analog tegangan dan arus secara periodik setiap periode sampling T_s . [3]

$$v(t) = v_m \sin(\omega t) \text{ dan } i(t) = i_m \sin(\omega t + \phi)$$

$$v(k) = v(k \times T_s) \text{ dan } i(k) = i(k \times T_s)$$

dimana : $k = 0, 1, 2, \dots$ (bilangan bulat) dan

T_s = periode sampling

F. Jenis Beban Listrik

Didalam sistem tenaga listrik dikenal 2 (dua) jenis beban listrik yaitu: Beban listrik linier dan Beban listrik nonlinier. [4]

a. Beban Listrik Linier

Beban Listrik Linier adalah beban yang tidak mempengaruhi karakteristik dari tegangan dan arus.

7

Beban linier merupakan beban yang mengeluarkan bentuk gelombang yang berbentuk linier, dimana arus yang mengalir sebanding dengan tahanan dan perubahan tegangan sehingga bentuk gelombang arus akan mengikuti bentuk gelombang tegangan yang ditimbulkannya.

Contoh-contoh beban listrik linier yaitu, elemen pemanas, pemanasan resistif, lampu-lampu pijar, motor-motor induksi dengan putaran konstan, motor-motor sinkron, dan lain-lain.[4]

b. Beban Listrik Nonlinier

Beban nonlinier adalah beban yang mempengaruhi karakteristik dari tegangan dan arus, sehingga bentuk gelombangnya berubah atau bentuk gelombang arus berbeda dengan bentuk gelombang tegangan yang ditimbulkannya. Beban nonlinier inilah yang menimbulkan/menghasilkan harmonisa.

Contoh-contoh beban listrik nonlinier yaitu *static power converter*, *electronic ballast*, *arc furnace*, *Air Conditioner* (AC), komputer, printer, semikonduktor *switching*, variabel frekuensi, dan lain-lain.

Beban nonlinier terbagi atas 2 (dua) beban:

1. Beban nonlinier yang di industri
 - Konverter Daya Tiga fasa
 - DC-Drive
 - AC-Drive
2. Beban non linier Umum/Komersil
 - *Electronic ballast*
 - Lampu hemat energi (LHE)
 - Komputer
 - Alat-alat elektronik
 - Alat-alat ukur
 - *Air Conditioner* (AC)
 - Penerangan gedung pada umumnya

Zaman modern ditandai oleh beban-beban non linier. Beban ini dapat membuat distorsi yang signifikan dari total beban fasilitas yang dapat menimbulkan arus harmonisa ke dalam sistem daya dan menyebabkan distorsi harmonisa pada tegangan. Masalah harmonisa ini dipengaruhi oleh kenyataan bahwa beban non linier ini memiliki faktor daya relatif rendah.[4]

2

G. Analisis Fourier untuk Bentuk Gelombang

Setiap bentuk gelombang periodik, yaitu yang memiliki bentuk $f(t)=f(t+T)$ dapat dinyatakan oleh sebuah deret Fourier bila memenuhi persyaratan *Dirichlet* :

1. Bila gelombang diskontinyu, hanya terdapat jumlah diskontinuitas yang terbatas dalam periode T
2. Gelombang memiliki nilai rata-rata yang terbatas dalam periode T
3. Gelombang memiliki jumlah maksimum dan minimum yang terbatas dalam periode T

Bila syarat-syarat tersebut dipenuhi, deret Fourier dapat dinyatakan dalam bentuk:[5]

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (3)$$

Dengan:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (4)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos h\omega t dt \quad (5)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin h\omega t dt \quad (6)$$

Dimana h adalah orde harmonisa, yaitu bilangan 2,3,... dan seterusnya.

Perhitungan koefisien dari tiap harmonisa dilakukan berdasarkan langkah-langkah prosedur pendekatan numerik berikut ini:[6]

1. Untuk menghitung pendekatan suatu integrasi secara numerik, interval antara batas-batas integrasi dibagi menjadi k bagian yang sama. Bila $f_1, f_2, f_3, \dots, f_k$ menyatakan ordinat $f(t)$ pada batas-batas bagian interval tersebut, sedangkan a dan b menunjukkan batas-batas integrasi maka

$$\int_a^b f(t) dt \approx \frac{b-a}{k} (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_k) \quad (7)$$

2. Relasi untuk memperoleh koefisien tiap harmonisa sebagai berikut:

$$a_0 = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \quad (8)$$

$$a_n = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \cos \left(h \frac{(i-1)\pi}{k} \right) \quad (9)$$

$$b_n = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \sin \left(h \frac{(i-1)\pi}{k} \right) \quad (10)$$

3. Formula untuk sudut fasa adalah:[7]

$$\varphi_n = \tan^{-1} \left(\frac{b_n}{a_n} \right) \quad (11)$$

4. Amplitudo dari setiap komponen harmonisa:

$$A = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (12)$$

sehingga persamaannya

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\sqrt{a_n^2 + b_n^2} \cos(h\omega t - \varphi_n) \right] \quad (13)$$

H. Harmonisa Arus dan Tegangan

Tingkat kecacatan seringkali dinyatakan dengan *Total Harmonic Distortion (THD)*, *Total Harmonic Distortion* digunakan sebagai ukuran untuk melihat berapa besar pengaruh keseluruhan adanya harmonisa terhadap sinyal sinus. Pengaruh keseluruhan harmonisa diperbandingkan terhadap komponen fundamental, karena komponen fundamental yang memberikan transfer energi nyata. Untuk tegangan nonsinus, THD didefinisikan sebagai berikut:[8]

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1} \quad (14)$$

Untuk arus nonsinus, THD didefinisikan sebagai

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N I_n^2}}{I_1} \quad (15)$$

dengan,

V_n ; I_n = komponen harmonisa.

V_1 ; I_1 = komponen fundamental.

N = harmonisa maksimum

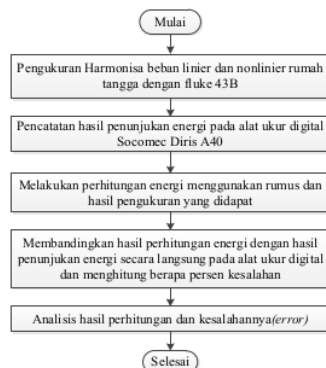
h = orde harmonisa

Karena begitu besar dan bervariasi dampak harmonisa pada peralatan dan sistem secara teknis dan ekonomis maka diperlukan standarisasi harmonisa. Standar yang mengatur distorsi harmonisa ini adalah standar IEEE

512-1992, standar ini mengatur batasan harmonisa yang diijinkan.[9]

VI. METODE ANALISA HARMONISA

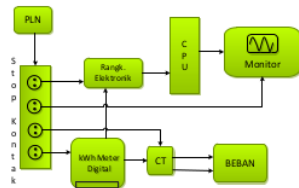
Metodologi penelitian yang digunakan secara umum adalah dengan tahapan sebagai berikut, pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian. Data-data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder. Pengambilan data primer adalah dengan melakukan pengujian terhadap penunjukan kWh meter digital yang dihubungkan dengan beban linier dan nonlinier. Langkah-langkah pengambilan data penelitian terlihat pada Gambar 1.



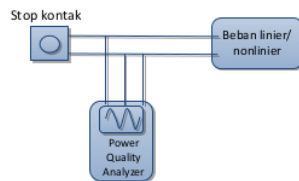
Gambar 1. Diagram Alir Tahap Pengambilan Data

VII. HASIL PENGUJIAN dan ANALISIS

Terdapat dua jenis rangkaian dalam merangkai rangkaian pengujian dalam pengukuran, yaitu pengukuran besaran-besaran listrik dan pengukuran nilai THD arus dan THD tegangan. Gambar rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Rangkaian pengukuran besaran listrik tiap beban



Gambar 3. Rangkaian Pengukuran THD Arus dan THD Tegangan tiap beban

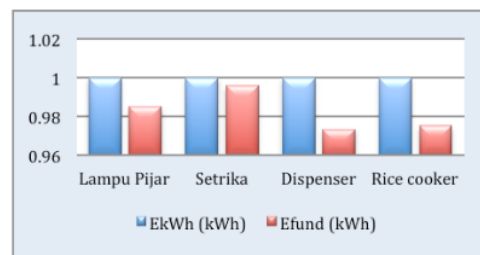
A. Pengujian Beban Linier

Dengan menggunakan persamaan 1 maka didapatkan nilai daya fundamental yang data beban-beban linier lainnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan energi yang terukur dan energi fundamental

Beban Linier	E_{kWh} (kW)	$E_{fundamental}$ (kW)	Efek Pembebanan	Error (%)
Lampu Pijar	1	0,9851	0,0149	1,51
Setrika		0,9960	0,0040	0,4
Dispenser		0,9734	0,0266	2,73
Rice Cooker		0,9752	0,0248	2,54

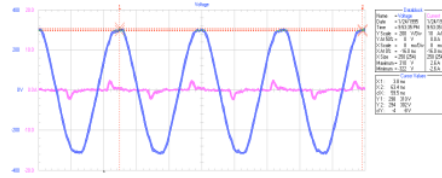
Hasil Penunjukan energi yang terukur lebih besar dari energi fundamentalnya karena tidak dipengaruhi oleh adanya harmonisa, grafik ditunjukkan pada Gambar 4.



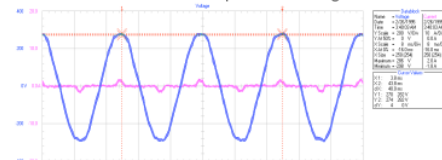
Gambar 4. Perbandingan Hasil Penunjukan Energi Beban Linier

B. Pengujian Beban Nonlinier

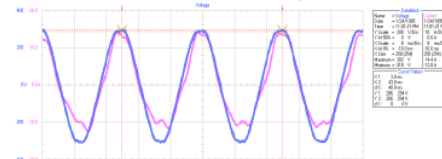
Untuk menganalisis gelombang tegangan dan arus beban nonlinier, hasil tampilan alat ukur *Power Quality Analyzer* Fluke 43 B berupa gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 5, 6, 7 akan digambarkan kembali dengan dilakukan segmentasi terlebih dahulu



Gambar 5. Lampu Hemat Energi



Gambar 6. Personal Computer



Gambar 7. Air Conditioner

Dari hasil tampilan gelombang diatas dilakukan pensegmenan masing-masing gelombang dengan lebar segmen adalah 0,3125 ms dalam rentang 1 periode pada frekuensi 50 Hz yaitu sebesar $T_0=20$ ms. Selanjutnya dilakukan perhitungan analisis gelombang dengan prosedur pendekatan numerik. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai koefisien tiap harmonisa, komponen harmonisa serta sudut fasa dari masing-masing harmonisa yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Analisis Gelombang Arus

Beban	Order	A_h (ampere)	B_h (ampere)	A (volt)	Φ
Lampu Hemat Energi	1	-0.5201	0.6774	0.6039	-0.916
	2	0.0094	0.0653	0.0466	1.4277
	3	0.5154	0.0767	0.3684	0.1478
	4	-0.0443	-0.0455	0.0449	0.7982
	5	-0.1923	-0.308	0.2567	1.0127
	6	-0.052	0.0535	0.0527	-0.8002
	7	-0.0291	0.2862	0.2034	-1.4694
	8	-0.0578	-0.0073	0.0412	0.1261
Personal Computer	1	0.0192	-0.4314	0.3054	-1.5263
	2	-0.0249	-0.0364	0.0312	0.9715
	3	-0.1800	0.3725	0.2925	-1.1207
	4	0.0493	-0.0300	0.0408	-0.5458
	5	0.2270	-0.2088	0.2181	-0.7437
	6	-0.0456	0.0531	0.0495	-0.8617
	7	-0.2262	0.0624	0.1659	-0.2691
	8	0.0171	-0.0745	0.0540	-1.3453
Air Conditioner (AC)	1	3.0700	-11.885	8.6799	-1.3180
	2	-1.7766	-0.1773	1.2625	0.0994
	3	-0.2869	-0.0789	0.2104	0.2683
	4	0.1577	-0.0291	0.1134	-0.1824
	5	-0.8065	0.0218	0.5705	-0.0270
	6	0.2577	0.0498	0.1856	0.1909
	7	0.1940	0.1986	0.1963	0.7970
	8	-0.1022	0.0718	0.0883	-0.6124

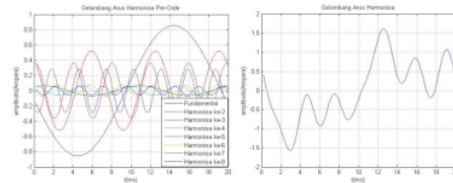
Tabel 3. Hasil Perhitungan Analisis Gelombang Tegangan

Beban	Order	A_h (volt)	B_h (volt)	A (volt)	Φ
Lampu Hemat Energi	1	46.6837	-303.804	217.344	-1.4183
	2	5.1127	13.4294	10.1609	1.207
	3	-2.5827	2.5913	2.587	-0.7871
	4	-2.7816	3.586	3.2091	-0.9111
	5	-2.8954	9.0352	6.7089	-1.2607
	6	-0.7224	3.2886	2.3808	-1.3546
	7	2.3769	2.0499	2.2194	0.7117
	8	-1.6831	1.9326	1.8121	-0.8543
Personal Computer	1	50.7110	-280.587	201.619	-1.3920
	2	4.8547	11.5792	8.8783	1.1738
	3	-1.3695	3.8797	2.9092	-1.2315
	4	-2.4652	4.1520	3.4144	-1.0350
	5	-2.1149	9.5483	6.9153	-1.3528
	6	-0.7201	3.0186	2.1944	-1.3366
	7	2.1542	3.6995	3.0271	1.0435
	8	-1.4401	2.7286	2.1816	-1.0852
Air Conditioner (AC)	1	47.9217	-297.988	213.417	-1.4113
	2	7.1217	12.5015	10.1736	1.0530
	3	-1.9276	4.0508	3.1721	-1.1267
	4	-3.4690	3.5813	3.5256	-0.8013
	5	-3.8468	7.4672	5.9396	-1.0951
	6	-0.3036	1.8959	1.3577	-1.4120
	7	1.2769	0.8064	1.0679	0.5633
	8	-1.0262	1.9535	1.5603	-1.0871

Dari Tabel 4.1 dan 4.2, bentuk gelombang diuraikan menjadi jumlah dari beberapa komponen fundamental dan harmonisa orde ganjil dengan amplitudo, sudut fasa dan frekuensi yang berlainan dalam kawasan waktu. Komponen fundamental

Gelombang Harmonisa Arus Beban Lampu Hemat Energi :

$$i(t) = 0.6039 \cos(1\omega_0 t + 0.916) + 0.0466 \cos(2\omega_0 t - 1.4277) + 0.3684 \cos(3\omega_0 t - 0.1478) + 0.0449 \cos(4\omega_0 t - 0.7982) + 0.2567 \cos(5\omega_0 t - 1.0127) + 0.0527 \cos(6\omega_0 t + 0.8002) + 0.2034 \cos(7\omega_0 t + 1.4694) + 0.0412 \cos(8\omega_0 t - 0.1261) + 0.6039 \sin(1\omega_0 t + 0.916) + 0.0466 \sin(2\omega_0 t - 1.4277) + 0.3684 \sin(3\omega_0 t - 0.1478) + 0.0449 \sin(4\omega_0 t - 0.7982) + 0.2567 \sin(5\omega_0 t - 1.0127) + 0.0527 \sin(6\omega_0 t + 0.8002) + 0.2034 \sin(7\omega_0 t + 1.4694) + 0.0412 \sin(8\omega_0 t - 0.1261)$$



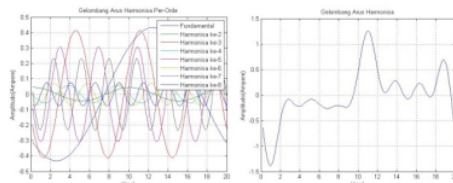
Gambar 8. Gelombang harmonisa arus per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi

dan harmonisa pembentuk gelombang didapatkan dengan cara menghitung koefisien fundamental dan koefisien tiap harmonisa serta sudut fasa dari masing-masing gelombang sehingga diperoleh persamaan dari bentuk gelombang tersebut.

1. Analisis Gelombang Harmonisa Arus

Gelombang Harmonisa Arus Beban Personal Computer :

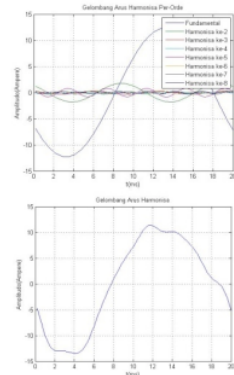
$$i(t) = 0.3054 \cos(1\omega_0 t + 1.5263) + 0.0312 \cos(2\omega_0 t - 0.9715) + 0.2925 \cos(3\omega_0 t + 1.1207) + 0.0408 \cos(4\omega_0 t + 0.5458) + 0.2181 \cos(5\omega_0 t + 0.7437) + 0.0495 \cos(6\omega_0 t + 0.8617) + 0.1659 \cos(7\omega_0 t + 0.2691) + 0.0540 \cos(8\omega_0 t + 1.3453) + 0.3054 \sin(1\omega_0 t + 1.5263) + 0.0312 \sin(2\omega_0 t - 0.9715) + 0.2925 \sin(3\omega_0 t + 1.1207) + 0.0408 \sin(4\omega_0 t + 0.5458) + 0.2181 \sin(5\omega_0 t + 0.7437) + 0.0495 \sin(6\omega_0 t + 0.8617) + 0.1659 \sin(7\omega_0 t + 0.2691) + 0.0540 \sin(8\omega_0 t + 1.3453)$$



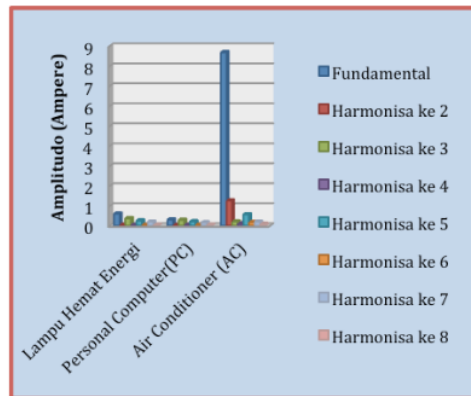
Gambar 9. Gelombang harmonisa arus per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi

Gelombang Harmonisa Arus Beban Air Conditioner (AC) :

$$i(t) = 8.6799 \cos(1\omega_0 t + 1.3180) + 1.2625 \cos(2\omega_0 t - 0.0994) + 0.2104 \cos(3\omega_0 t - 0.2683) + 0.1134 \cos(4\omega_0 t + 0.1824) + 0.5705 \cos(5\omega_0 t + 0.0270) + 0.1856 \cos(6\omega_0 t - 0.1909) + 0.1963 \cos(7\omega_0 t - 0.7970) + 0.0883 \cos(8\omega_0 t + 0.6124) + 8.6799 \cos(1\omega_0 t + 1.3180) + 1.2625 \cos(2\omega_0 t - 0.0994) + 0.2104 \cos(3\omega_0 t - 0.2683) + 0.1134 \cos(4\omega_0 t + 0.1824) + 0.5705 \cos(5\omega_0 t + 0.0270) + 0.1856 \cos(6\omega_0 t - 0.1909) + 0.1963 \cos(7\omega_0 t - 0.7970) + 0.0883 \cos(8\omega_0 t + 0.6124)$$



Gambar 10. Gelombang harmonisa arus per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi



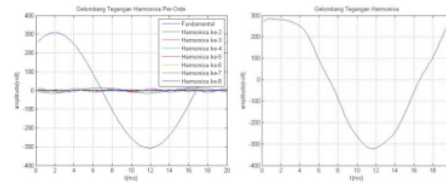
Gambar 21. Grafik Perbandingan Harmonisa Arus

Hasil perbandingan besar amplitude harmonisa arus orde yang ditunjukkan pada Gambar 11 dan pengujian yang telah dilakukan membuktikan bahwa beban nonlinier rumah tangga memberikan kontribusi harmonisa arus yang cukup besar.

2. Analisis Gelombang Harmonisa Tegangan

Gelombang Harmonisa Tegangan Beban Lampu Hemat Energi:

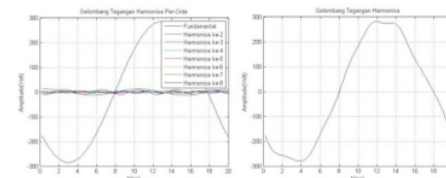
$$v(t) = 217.344 \cos(1\omega_0 t + 1.4183) + 10.1609 \cos(2\omega_0 t - 1.207) + 2.587 \cos(3\omega_0 t + 0.7871) + 3.2091 \cos(4\omega_0 t + 0.9111) + 6.7089 \cos(5\omega_0 t + 1.2607) + 2.3808 \cos(6\omega_0 t + 1.3546) + 2.2194 \cos(7\omega_0 t - 0.7117) + 1.8121 \cos(8\omega_0 t + 0.8543) + 217.344 \sin(1\omega_0 t + 1.4183) + 10.1609 \sin(2\omega_0 t - 1.207) + 2.587 \sin(3\omega_0 t + 0.7871) + 3.2091 \sin(4\omega_0 t + 0.9111) + 6.7089 \sin(5\omega_0 t + 1.2607) + 2.3808 \sin(6\omega_0 t + 1.3546) + 2.2194 \sin(7\omega_0 t - 0.7117) + 1.8121 \sin(8\omega_0 t + 0.8543)$$



Gambar 32. Gelombang harmonisa tegangan per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi

Gelombang Harmonisa Tegangan Beban Personal Computer :

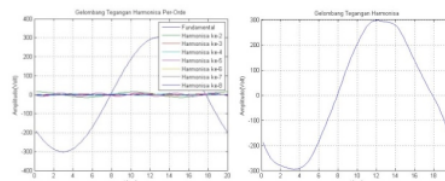
$$v(t) = 201.6193 \cos(1\omega_0 t + 1.3920) + 8.8783 \cos(2\omega_0 t - 1.1738) + 2.9092 \cos(3\omega_0 t + 1.2315) + 3.4144 \cos(4\omega_0 t + 1.0350) + 6.9153 \cos(5\omega_0 t + 1.3528) + 2.1944 \cos(6\omega_0 t + 1.3366) + 3.0271 \cos(7\omega_0 t - 1.0435) + 2.1816 \cos(8\omega_0 t + 1.0852) + 201.6193 \sin(1\omega_0 t + 1.3920) + 8.8783 \sin(2\omega_0 t - 1.1738) + 2.9092 \sin(3\omega_0 t + 1.2315) + 3.4144 \sin(4\omega_0 t + 1.0350) + 6.9153 \sin(5\omega_0 t + 1.3528) + 2.1944 \sin(6\omega_0 t + 1.3366) + 3.0271 \sin(7\omega_0 t - 1.0435) + 2.1816 \sin(8\omega_0 t + 1.0852)$$



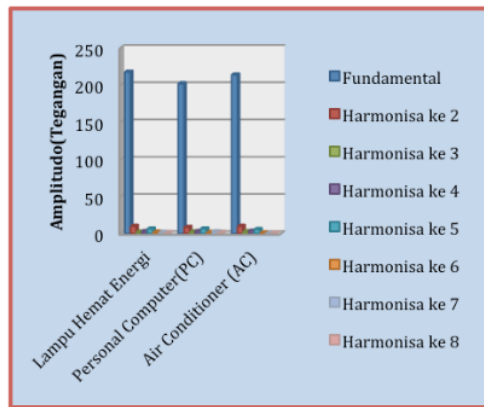
Gambar 43. Gelombang harmonisa tegangan per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi

Gelombang Harmonisa Tegangan Beban Air Conditioner (AC):

$$v(t) = 213.4169 \cos(1\omega_0 t + 1.4113) + 10.1736 \cos(2\omega_0 t - 1.0530) + 3.1721 \cos(3\omega_0 t + 1.1267) + 3.5256 \cos(4\omega_0 t - 0.8013) + 5.9396 \cos(5\omega_0 t + 1.0951) + 1.3577 \cos(6\omega_0 t + 1.4120) + 1.0679 \cos(7\omega_0 t - 0.5633) + 1.5603 \cos(8\omega_0 t + 1.0871) + 213.4169 \sin(1\omega_0 t + 1.4113) + 10.1736 \sin(2\omega_0 t - 1.0530) + 3.1721 \sin(3\omega_0 t + 1.1267) + 3.5256 \sin(4\omega_0 t - 0.8013) + 5.9396 \sin(5\omega_0 t + 1.0951) + 1.3577 \sin(6\omega_0 t + 1.4120) + 1.0679 \sin(7\omega_0 t - 0.5633) + 1.5603 \sin(8\omega_0 t + 1.0871)$$



Gambar 54. Gelombang harmonisa tegangan per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi



Gambar 65. Grafik Perbandingan Harmonisa Tegangan

Hasil perbandingan besar amplitude harmonisa tegangan orde yang ditunjukkan pada Gambar 15 dan pengujian yang telah dilakukan membuktikan bahwa beban nonlinier rumah tangga memberikan kontribusi harmonisa tegangan yang kecil. Terbukti pada nilai THD arus yang lebih besar dari THD tegangannya.

3. Analisis Pengaruh Harmonisa terhadap error Hasil Penunjukan alat ukur kWh Meter Digital

Berdasarkan persamaan 14 dan 15, perhitungan nilai arus dan tegangan harmonisa total untuk beban lampu hemat energi adalah:

$$\begin{aligned}
 THD_V &= \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2}}{V_1} \times 100\% \\
 2,5\% &= \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2}}{V_1} \times 100\% \\
 \sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2} &= \frac{2,5\%}{100\%} \times 223,2 \text{ V} \\
 \sum_{h=2}^N V_h^2 &= \left[\frac{2,5\%}{100\%} \times 223,2 \right]^2 \\
 \sum_{h=2}^N V_h^2 &= [5,58]^2 \\
 \sum_{h=2}^N V_h^2 &= 31,1364 \text{ V} \\
 THD_I &= \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_1} \times 100\% \\
 68,4\% &= \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_1} \times 100\% \\
 \sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2} &= \frac{68,4\%}{100\%} \times 0,6 \text{ A} \\
 \sum_{h=2}^N I_h^2 &= \left[\frac{68,4\%}{100\%} \times 0,6 \right]^2 \\
 \sum_{h=2}^N I_h^2 &= [0,4104]^2 \\
 \sum_{h=2}^N I_h^2 &= 0,1684 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Kenaikan nilai tegangan dan arus harmonisa tiap-tiap beban nonlinier ditunjukkan pada Tabel 4.

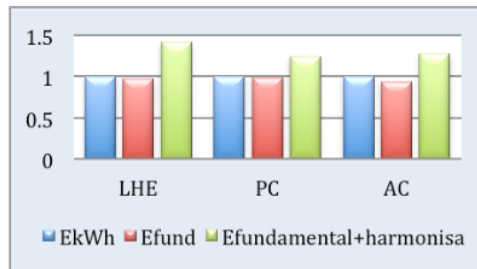
Tabel 4. Kenaikan Tegangan dan Arus Harmonisa Berdasarkan Perhitungan

Beban Nonlinier	Tegangan Harmonisa	Arus Harmonisa
LHE	31,1364 V	0,1684 A
Personal Computer	29,4979 V	0,0263 A
Air Conditioner (AC)	18,7835 V	2,1917 A

Tabel 5. Perbandingan energi yang terukur, energi fundamental dan saat terdapat harmonisa

Beban Nonlinier	E _{kWh} (kWh)	E _{fundamental} (kWh)	E _{fundamental+harmonisa} (kWh)
LHE	1	0,9715	1,4173
Personal Computer		0,9867	1,2395
AC		0,9397	1,2766

Dari Tabel 5 terlihat adanya perbedaan hasil penunjukan energi yang terukur pada kWh meter digital, energi fundamental saja dengan energi fundamental dan harmonisa, dimana dari hasil perhitungan energi fundamental dan harmonisa lebih besar dari pada perhitungan energi fundamental. Berbeda dengan perbandingan hasil penunjukan energi pada beban linier yang tidak dipengaruhi oleh adanya harmonisa sehingga hasil penunjukan energi beban nonlinier yang terukur pada kWh meter digital lebih kecil dari energi setelah adanya harmonisa.



Gambar 76. Perbandingan Hasil Penunjukan Energi yang terukur untuk Beban Nonlinier

Pada Gambar 16 menunjukkan bahwa tiap beban nonlinier memiliki *error* kesalahan hasil penunjukan yang cukup besar karena adanya pengaruh komponen harmonisa yang ditimbulkan.

VIII. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisis di laboratorium, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai THD arus beban nonlinier rumah tangga sangat besar dibandingkan THD arus beban linier. THD arus yang muncul pada beban linier diakibatkan karena adanya faktor eksternal, sehingga nilai THD yang muncul dapat diabaikan. Selain itu, besar prosentase kesalahan hasil penunjukan alat ukur kWh digital terjadi akibat adanya komponen harmonisa yang ditimbulkan. Penjumlahan daya fundamental dan komponen harmonisa membuat pengukuran daya yang terukur

selama kurun waktu(t) tertentu menjadi tidak sesuai dengan hasil penunjukan energi alat ukur kWh Meter Digital 1 Fasa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mismail, Budiono. 1995. *Rangkaian Listrik Jilid Pertama*. Bandung: ITB.
- [2] Zuhail. 1992. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia.
- [3] Muchlis, Imamul & Santoso, Adi. *Watt-hour Meter Digital*. PUSLITBANG KIM-LIPI
- [4] Dugan, Roger C & Mc Granaghan, Mark F. 2003. *Electrical Power Systems Quality*. McGraw-Hill: Digital Engineering Library. [www.digitalengineeringlibrary.com]
- [5] Mismail, Budiono. 1997. *Rangkaian Listrik Jilid Kedua*. Bandung: ITB.
- [6] Margunadi, A R. 1994. *Dasar-dasar Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [7] Sudirham, Sudaryatno. 2010. *Analisis Rangkaian Listrik Jilid 3*. Bandung: ITB.
- [8] Arrillaga, Jos & Naveille, R Watson. 2004. *Power System Harmonics*, second edition, John Wiley & Sons, Ltd.
- [9] IEEE Std 519-1992. *Recommended Practice And Requirement For Harmonic Control In Electric Power System*.

Pengendalian Frekuensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis ANFIS

Wahyudiyono
Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember
Surabaya, Indonesia
wahyudiyono@pln.co.id

Ardyono Priyadi
Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember
Surabaya, Indonesia
ardyono_p@yahoo.com

Mauri Hery Purnomo³
Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember
Surabaya, Indonesia
hery@ee.its.ac.id

Abstrak—Paper ini menyajikan perilaku dinamis pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dengan sistem *standalone*, serta pengendalian frekuensi untuk meredam osilasi yang terjadi. Untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro, pengendalian frekuensi diformulasikan sebagai *objective function* dengan batasan yang terdiri dari rasio redaman dan faktor redaman. Penggunaan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) sebagai kontroler membuat faktor redaman terhadap osilasi yang terjadi akibat gangguan semakin besar. Dengan demikian, osilasi menjadi lebih kecil sehingga pembangkit listrik tenaga mikrohidro lebih stabil terhadap gangguan yang terjadi. Simulasi dilakukan menggunakan *software* MATLAB dan *Simulink* untuk menguji keakuratan metode yang diusulkan sehingga analisis pengaruh *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* dapat memberikan gambaran mengenai kestabilan dinamik pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Kata Kunci—PLTM; kontrol frekuensi; ANFIS.

VI. PENDAHULUAN

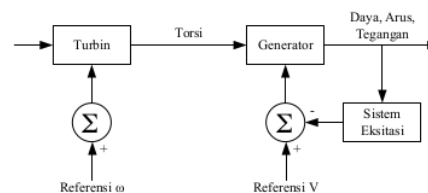
Kondisi pembangkit listrik tenaga mikrohidro masa datang akan banyak dijumpai, khususnya dengan sistem mandiri (*standalone*). Hal ini terjadi karena 145ediaan bahan bakar fosil semakin menipis. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan salah satu energi terbarukan dengan sumber energi yang berasal dari alam, ramah lingkungan serta murah. Air berskala kecil yang melimpah ruah merupakan penggerak utama dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Kendali sistem dinamik telah banyak dilakukan penelitian untuk sistem konvensional, namun baru sedikit pada sistem mikrohidro. Kendali sistem dinamik di makalah ini didefinisikan terjadi gangguan yang berakibat perubahan beban pada bus terdekat di pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Gangguan diharapkan segera hilang sehingga sistem pembangkit listrik tidak terganggu terlalu lama. Metode deteksi ketidakstabilan dinamik, yaitu variabel frekuensi dan tegangan, telah banyak diusulkan. Masalah penggunaan variabel ini adalah sensitivitas terhadap hasil besaran *output* frekuensi dan tegangan. Untuk

memperbaiki permasalahan tersebut digunakan kontrol *fuzzy*. Metode *fuzzy* cukup handal digunakan untuk mengendalikan variabel frekuensi dan tegangan dengan berpedoman pada model matematik *nonlinier* [1-2]. Kelemahan metode pengendali *fuzzy* adalah kurang akuratnya deteksi perubahan beban pembangkit pada setiap titik operasi, sedangkan untuk kontrol pengaturan air tergantung beban dengan menggunakan kuantitas air. Oleh karena itu, *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* akan digunakan sebagai metode 12rnatif untuk mengatasi kelemahan tersebut. Sistem *fuzzy* yang digunakan adalah model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi [3]. Pada penelitian ini pemodelan kontrol frekuensi dan tegangan dilakukan dengan simulasi *software* MATLAB, dan *Simulink*. Diharapkan dengan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*, pengendalian frekuensi pada PLTMH dapat menghasilkan *ouput* sesuai dengan sistem kelistrikan sistem distribusi.

VII. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

Generator yang digunakan pada penelitian ini adalah generator sinkron. Gambar 1 merupakan blok diagram pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang akan digunakan pada penelitian ini.



Gambar.1 Sistem pembangkit PLTMH

Governor merupakan pengendali yang berfungsi menstabilkan nilai torsi mekanik yang menjadi masukan bagi generator. Jika terjadi perubahan putaran atau frekuensi, maka governor akan mempertahankan agar frekuensi sistem tetap dalam batas yang diperbolehkan [6].

Kecepatan perputaran dari generator sinkron akan 7mpengaruhi frekuensi listrik yang dihasilkan generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan *suplay* arus DC untuk membentuk medan magnet pada rotor. Medan magnet

rotor bergerak searah putaran rotor. Secara umum persamaan ayunan mesin sinkron sesuai dengan persamaan 1 [4].

$$\frac{H}{\pi f_0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_m - P_e \quad (1)$$

Ketika terjadi gangguan, persamaan ayunan menjadi:

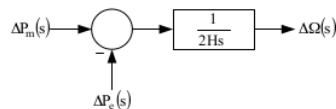
$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} = \Delta P_m - \Delta P_e \quad (2)$$

$$\frac{d\Delta \omega}{dt} = \frac{1}{2H} (\Delta P_m - \Delta P_e) \quad (3)$$

Transformasi Laplace dari persamaan (3), diperoleh:

$$\Delta \Omega(s) = \frac{1}{2Hs} [\Delta P_m(s) - \Delta P_e(s)] \quad (4)$$

Diagram blok persamaan (4) ditunjukkan oleh gambar 2.



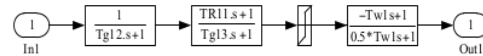
Gambar.2 Blok diagram pemodelan generator

$\Delta \Omega$ merupakan perubahan frekuensi generator sinkron. Berdasarkan gambar 2, perubahan frekuensi dipengaruhi oleh perubahan daya mekanik dan perubahan daya listrik.

A. Pemodelan Load Frequency Control (LFC) Mikrohidro

Tujuan dari penggunaan Load Frequency Control

(LFC) diantaranya untuk mempertahankan besaran frekuensi yang berubah-ubah, pembagian beban antar generator-generator, dan mengontrol perubahan saluran percabangan [4]. Konsep pemodelan sistem governor dan turbin yang digunakan pada mesin mikrohidro ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar.3 Blok diagram pemodelan governor dan turbin mikrohidro

Tabel 1 menunjukkan parameter awal dari pemodelan governor dan turbin dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro dari gambar 3.

Tabel.1 Data parameter awal LFC

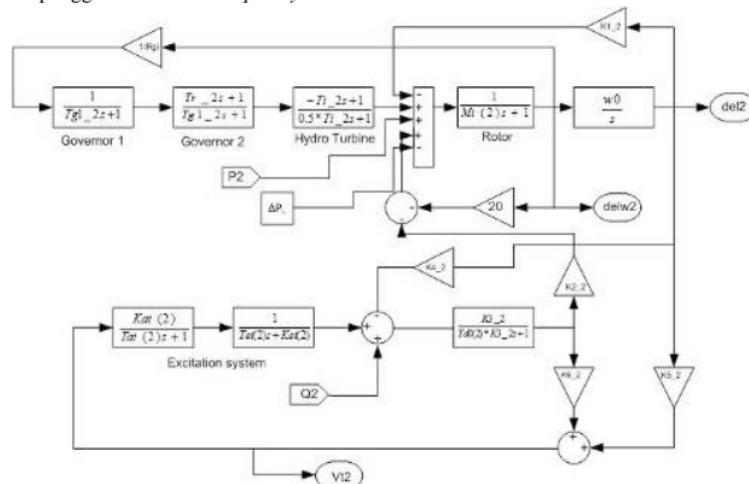
Parameter LFC	Nilai
Rgi	0,01
T ₄	0,7
T ₅	0,3
T ₆	0,6
T ₈	0,9

B. Pemodelan Generator

Pengendalian frekuensi pada generator sinkron pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang digunakan pada penelitian ini adalah model Fouad-Anderson yang disebutkan pada referensi [5] dan ditunjukkan oleh gambar 4.

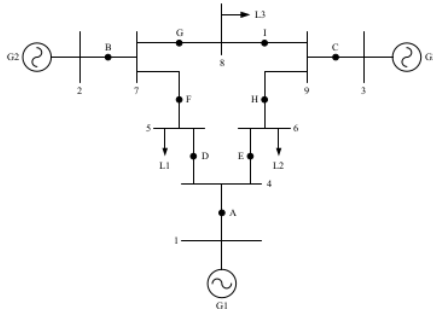
C. Pemodelan Jaring PLTMH Terhubung PLTD

Sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem mandiri, namun untuk analisisnya menggunakan sistem 3 buah pembangkit, diantaranya 2 buah pembangkit listrik tenaga mikrohidro dan 1 buah



Gambar 4. Blok diagram generator sinkron PLTMH

pembangkit listrik tenaga diesel. Selain itu pada penelitian ini menggunakan 3 beban dan 9 bus, seperti pada gambar 5 yang merupakan modifikasi dari sistem pada referensi [5]. Perubahan beban akibat gangguan pada suatu pembangkit akan mempengaruhi keadaan pembangkit lainnya. Hal ini disebabkan karena antara pembangkit satu dengan pembangkit lainnya terhubung secara elektrik melalui jaring. Sebagai misal perubahan sudut rotor pada pembangkit i (δ_i) akan mempengaruhi besaran-besaran pembangkit j seperti δ_j , ω_j dan tegangan jepit. Dalam sistem mandiri goyangan rotor dan tegangan suatu pembangkit yang diakibatkan oleh perubahan di suatu pusat beban dapat mempengaruhi pembangkit lainnya [6].



Gambar.5 Sistem tenaga 3 generator, 3 beban, 9 bus

dengan:

G1 = Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD).

G2 = Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro-1 (PLTMH-1).

G3 = Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro-2 (PLTMH-2).

L1 = Beban Statis-1 (antara G1 dan G2).

L2 = Beban Statis-2 (antara G1 dan G3).

L3 = Beban Statis-3 (antara G2 dan G3).

VIII. ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

A. Pemodelan ANFIS untuk PLTMH

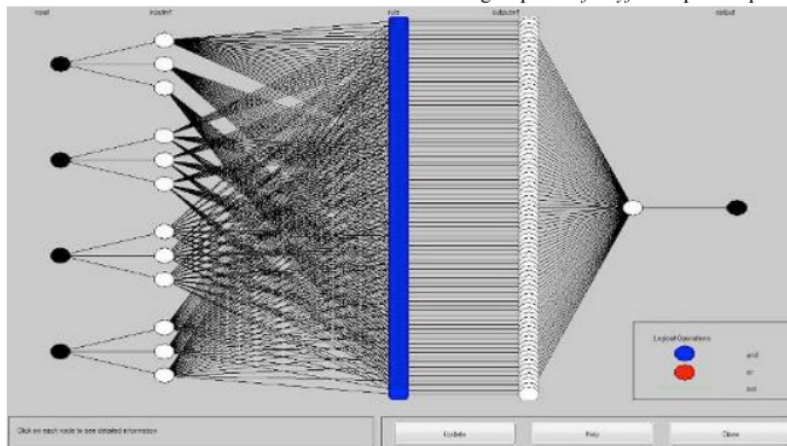
Sedangkan untuk struktur model ANFIS untuk generator PLTMH, sebagai berikut:

Pada gambar 6, lapis pertama adalah lapis *input*. Lapis *input* ini adalah lapisan yang merupakan masukan untuk ANFIS. Pada ANFIS yang dipakai pada gambar 6, dipakai 4 nilai *input* yaitu koefisien pada tabel 1. 4 nilai ini akan dikalikan dengan *weight* atau pemberat dari setiap *input* yang terhubung pada sistem *fuzzy*. Hasil dari perkalian antara nilai *input* dan pemberat *input*, akan dijadikan *input* pada sistem *fuzzy*. Proses sistem *fuzzy* terjadi pada lapis kedua.

Lapis kedua pada ANFIS merupakan lapisan yang terdapat *membership function* atau derajat keanggotaan dari sistem *fuzzy*. Fungsi *membership function* adalah mengubah semua nilai *input* menjadi nilai antara range 0 dan 1. Proses ini adalah proses *fuzzyfikasi*. Normalisasi pada ANFIS terjadi pada proses ini. Pada sistem *fuzzy* yang terdapat pada ANFIS, terdapat tiga *input* untuk sistem *fuzzy*. Setiap *input* pada sistem *fuzzy* menggunakan 3 *membership function*. Nilai *input* yang telah diproses *fuzzyfikasi* akan menghasilkan nilai *crisp*. Nilai ini akan menjadi acuan untuk pembentukan dari *rulebase* atau aturan dasar.

Pada gambar 6, *rulebase* adalah gambar dengan warna biru yang terletak pada tengah ANFIS (lapis ketiga). *Rulebase* ini berguna untuk membuat keputusan pada sistem *fuzzy*, yang akhirnya akan menjadi keputusan pada ANFIS. Semua nilai *input* yang telah dinormalisasi, akan dikalikan dan dijumlah sesuai dengan *rulebase* yang telah ditentukan. Semua nilai hasil dari *rulebase* akan menjadi acuan pada *membership function* dari *output* sistem *fuzzy*. Pada gambar 6, *output* dari *fuzzy* ditentukan pada lapis ketiga.

Nilai hasil dari *rulebase* akan diubah kembali menjadi nilai yang sesuai dengan *output* atau tujuan dari sistem *fuzzy* (lapis keempat). Pada sistem *fuzzy*, nilai pemberat yang digunakan adalah 1. Proses ini adalah proses *defuzzyfikasi*. Proses ini hampir sama dengan proses *fuzzyfikasi* pada lapis *input*. Pada lapis



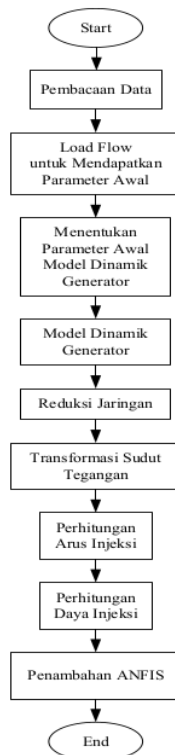
Gambar 6. Struktur model ANFIS untuk generator PLTMH

output digunakan 3 *membership function* juga.

Nilai hasil keluaran dari sistem *fuzzy* akan dijadikan sebagai keluaran pada lapis kelima. Lapis kelima ini adalah lapisan *output* dari sistem *fuzzy* dan ANFIS. Nilai dari *output* sistem *fuzzy* akan dikalikan dengan pemberat *output*. Nilai awal pada pemberat *output* adalah random. Hasil perkalian dari setiap keluaran dari sistem *fuzzy* dan pemberat *output* adalah nilai keluaran dari ANFIS.

Setelah diperoleh nilai keluaran ini, maka nilai ini akan dibandingkan dengan nilai target. Jika tidak sesuai dengan data target, maka delta atau selisih antara nilai keluaran dan *output* akan kembali ke jaringan untuk memperbaiki pemberat. Kembali disini adalah proses mundur dari nilai *output* sampai *input*, sampai nanti nilai dari *error* atau delta ini adalah nol. Proses ini adalah proses *backpropagation* atau propagasi balik.

B. Diagram Alir Anfis pada PLTMH



Gambar.7 Flowchart model pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan ANFIS

IX. SIMULASI DAN ANALISA

Simulasi dilakukan sebagai pembuktian kesesuaian metode dan pemodelan yang telah dirancang. Simulasi dilakukan untuk membandingkan penggunaan metode antara *Load Frequency Control* dan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* pada sistem mandiri

(*standalone*) dimana pembangkit listrik tenaga mikrohidro terhubung dengan pembangkit listrik tenaga diesel, serta memperhatikan kondisi besaran gangguan yang mengakibatkan perubahan beban. Hasil simulasi akan didapatkan nilai frekuensi, tegangan dan sudut rotor saat terjadi perubahan beban akibat gangguan. Pada simulasi ini juga hanya terbatas pada beban statis dengan spesifikasi data sistem sebagai berikut:

Tabel.2 Data distribusi sistem 3 generator, 9 bus

Data Transmisi					
No. Line	Dari Bus	Menuju Bus	R	X	HalfLine Charging Susceptance (pu)
1	1	4	0,0000	0,0576	0,0000
2	2	7	0,0000	0,0625	0,0000
3	3	9	0,0000	0,0586	0,0000
4	4	5	0,0100	0,0850	0,0880
5	4	6	0,0170	0,0920	0,0790
6	5	7	0,0320	0,1610	0,1530
7	6	9	0,0390	0,1700	0,1790
8	7	8	0,0085	0,0720	0,0745
9	8	9	0,0119	0,1008	0,1045

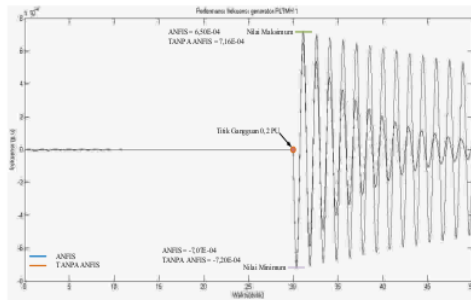
Tabel.3 Data bus sistem 3 generator, 9 bus

No. Bus	P Generator (KW)	Q Generator (KVAR)	P Beban (KW)	Q Beban (KVAR)
1	200,00	30,00	0,00	0,00
2	163,00	30,00	0,00	0,00
3	85,00	30,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	125,00	50,00
6	0,00	0,00	90,00	30,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	30,00	10,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00

Dari 4 percobaan pada masing-masing pembangkit dan 72 hasil percobaan, berikut akan ditunjukkan beberapa hasil dari percobaan pada pembangkit PLTMH-1 saat terjadi gangguan 0,2 PU dan 0,8 PU dengan hasil osilasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor. Adapun parameter *Load Frequency Control* untuk generator ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel.4 Data parameter *Load Frequency Control* untuk generator PLTMH-1

	Tanpa ANFIS	ANFIS
R _{gi}	0,01	0,1
T ₄	0,7	0,4
T ₅	0,3	0,2
T ₆	0,6	0,5
T ₈	0,9	0,2

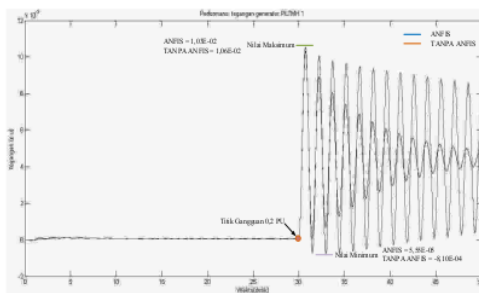


Gambar.8 Respon frekuensi PLTMH-1 saat gangguan 0,2 PU didekat bus PLTMH-1

Pada gambar 8 tampak bahwa saat detik ke-30 terjadi gangguan sebesar 0,2 PU didekat bus PLTMH-1, osilasi respon frekuensi yang ditampilkan dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* lebih kecil dibandingkan sebaliknya. Sedangkan nilai respon frekuensi yang didapat tampak pada tabel 5.

Tabel.5 Nilai respon frekuensi PLTMH-1 saat gangguan 0,2 PU didekat bus PLTMH-1

	Tanpa ANFIS	ANFIS
Min. (PU)	-7,20E-04	-7,07E-04
Mak. (PU)	7,16E-04	6,50E-04

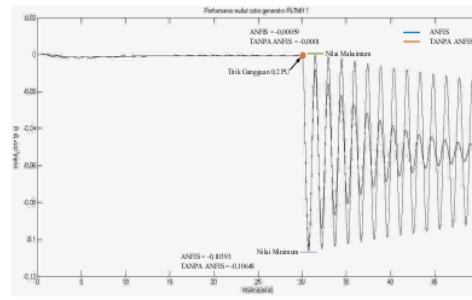


Gambar.9 Respon tegangan PLTMH-1 saat gangguan 0,2 PU didekat bus PLTMH-1

Pada gambar 9 tampak bahwa saat detik ke-30 terjadi gangguan sebesar 0,2 PU didekat bus PLTMH-1, osilasi respon tegangan yang ditampilkan dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* lebih kecil dibandingkan sebaliknya. Sedangkan nilai respon tegangan yang didapat tampak pada tabel 6.

Tabel.6 Nilai respon tegangan PLTMH-1 saat gangguan 0,2 PU didekat bus PLTMH-1

	Tanpa ANFIS	ANFIS
Min. (PU)	-8,10E-04	5,55E-05
Mak. (PU)	1,06E-02	1,03E-02

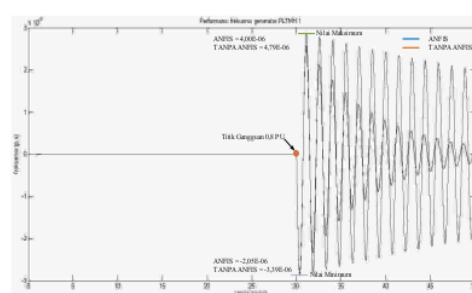


Gambar.10 Respon sudut rotor PLTMH-1 saat gangguan 0,2 PU didekat bus PLTMH-1

Pada gambar 10 tampak bahwa saat detik ke-30 terjadi gangguan sebesar 0,2 PU didekat bus PLTMH-1, osilasi respon sudut rotor yang ditampilkan dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* lebih kecil dibandingkan sebaliknya. Sedangkan nilai respon sudut rotor yang didapat tampak pada tabel 7.

Tabel.7 Nilai respon sudut rotor PLTMH-1 saat gangguan 0,2 PU didekat bus PLTMH-1

	Tanpa ANFIS	ANFIS
Min. (PU)	-0,10648	-0,10393
Mak. (PU)	-0,0001	-0,00059

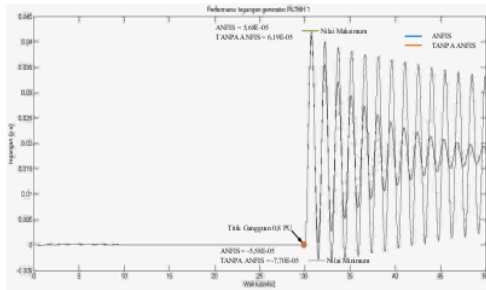


Gambar.11 Respon frekuensi PLTMH-1 saat gangguan 0,8 PU didekat bus PLTMH-1

Pada gambar 11 tampak bahwa saat detik ke-30 terjadi gangguan sebesar 0,8 PU didekat bus PLTMH-1, osilasi respon frekuensi yang ditampilkan dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* lebih kecil dibandingkan sebaliknya. Sedangkan nilai respon frekuensi yang didapat tampak pada tabel 8.

Tabel.8 Nilai respon frekuensi PLTMH-1 saat gangguan 0,8 PU didekat bus PLTMH-1

	Tanpa ANFIS	ANFIS
Min. (PU)	-3,39E-06	-2,05E-06
Mak. (PU)	4,79E-06	4,00E-06

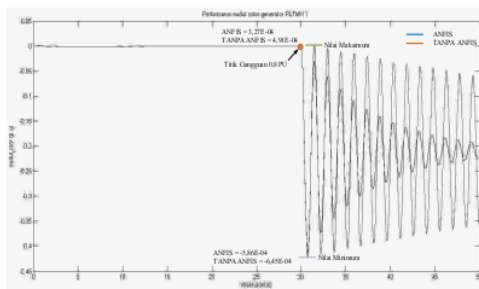


Gambar.12 Respon tegangan PLTMH-1 saat gangguan 0,8 PU didekat bus PLTMH-1

Pada gambar 12 tampak bahwa saat detik ke-30 terjadi gangguan sebesar 0,8 PU didekat bus PLTMH-1, osilasi respon tegangan yang ditampilkan dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* lebih kecil dibandingkan sebaliknya. Sedangkan nilai respon tegangan yang didapat tampak pada tabel 9.

Tabel.9 Nilai respon tegangan PLTMH-1 saat gangguan 0,8 PU didekat bus PLTMH-1

	Tanpa ANFIS	ANFIS
Min. (PU)	-7,70E-05	-5,58E-05
Mak. (PU)	6,19E-05	5,68E-05



Gambar.13 Respon sudut rotor PLTMH-1 saat gangguan 0,8 PU didekat bus PLTMH-1

Pada gambar 13 tampak bahwa saat detik ke-30 terjadi gangguan sebesar 0,8 PU didekat bus PLTMH-1, osilasi respon sudut rotor yang ditampilkan dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* lebih kecil dibandingkan sebaliknya. Sedangkan nilai respon sudut rotor yang didapat tampak pada tabel 10.

Tabel.10 Nilai respon sudut rotor PLTMH-1 saat gangguan 0,8 PU didekat bus PLTMH-1

	Tanpa ANFIS	ANFIS
Min. (PU)	-6,45E-04	-5,86E-04
Mak. (PU)	4,91E-04	3,27E-04

X. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Hasil penelitian pada pembangkit PLTMH-1 saat terjadi gangguan 0,2 PU dan 0,8 PU dapat diambil kesimpulan:

- Saat terjadi gangguan 0,2 PU dan 0,8 PU di sekitar bus PLTMH-1, penggunaan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* cukup efektif mengurangi besarnya osilasi frekuensi akibat adanya gangguan didekat bus PLTMH-1.
- Saat terjadi gangguan 0,2 PU dan 0,8 PU di sekitar bus PLTMH-1, penggunaan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* cukup efektif mengurangi besarnya osilasi tegangan akibat adanya gangguan didekat bus PLTMH-1.
- Saat terjadi gangguan 0,2 PU dan 0,8 PU di sekitar bus PLTMH-1, penggunaan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* cukup efektif mengurangi besarnya osilasi sudut rotor akibat adanya gangguan didekat bus PLTMH-1.

B. Penelitian Selanjutnya

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk sistem pengendali frekuensi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro sebagai energi terbarukan dengan menggunakan metode selain ANFIS.
- Diharapkan dengan menggunakan metode selain ANFIS dapat dijadikan sebagai bahan perbandingan hasil *output* osilasi yang diinginkan saat terjadi gangguan sampai sistem kembali ke posisi sekitar daerah normal.

DAFTAR PUSTAKA

Dasar sumber buku:

- [1] I. Salhi, S. Doubabi, N. Essounbouli, "Fuzzy Control Of Micro Hydro Power Plants", Laboratory of Electrical System and Telecommunications (LSET), FSTG-Marrakesh, Cadi Ayyad University.
- [2] I. Salhi, S. Doubabi, N. Essounbouli, "Design and Simulation of Fuzzy Controller and Supervisor for A Micro-Hydro Power Plant", 18th Mediterranean Conference on Control & Automation, Congress Palace Hotel, Marrakech, Morocco, 23-25, 2010.
- [3] J.S.R. Jang, C.T. Sun, and E. Muzutani, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prentice-Hall International, 1997.
- [4] H. Saadat, "Power System Analysis", McGraw-Hill Education, 1994.
- [5] Anderson P. M., Fouad A. A., "Power System Control and Stability", Iowa State University Press, USA, 1982.
- [6] Adi Soeprijanto, "Desain Kontroler untuk Kestabilan Dinamik Sistem Tenaga Listrik", ITS Press, 2012.

Perancangan Bohlam Led Dc Dengan Regulator LT3590 Untuk Sistem Rumah DC

Soeprapto¹, Rini Nur Hasanah², Mahfudz Siddiq³, Yosi Dwi Handari⁴

^{1,2,3,4} Teknik Elektro Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail : prapto1056@gmail.com

Abstrak—Kebutuhan listrik semakin meningkat seiring dengan bertambahnya populasi manusia. Hal ini menyebabkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan untuk kebutuhan listrik jangka panjang. Teknologi yang tengah dikembangkan saat ini adalah sistem rumah DC. Dengan memanfaatkan sumber daya alam terbarukan di sekitar rumah dapat menghasilkan listrik sendiri untuk kebutuhan rumah tersebut. Karena sumber daya terbarukan tidak selalu tersedia setiap saat (seperti angin dan matahari), maka hanya sedikit daya yang dapat dibangkitkan. Jadi, kita harus melakukan pengisian peralatan di rumah agar dapat bekerja optimal dengan menggunakan daya yang kecil ini. Salah satu hal yang penting dalam suatu rumah yang dapat dilakukan pengisian lagi adalah lampu untuk penerangan.

Dengan menggunakan LED dapat menghasilkan penerangan optimal dengan konsumsi daya yang kecil. Akan tetapi, LED membutuhkan LED Driver untuk mengaktifkannya dan *heatsink* untuk mengantisipasi panas tinggi yang dihasilkan LED. Penelitian ini menggunakan LT3590 yang digunakan sebagai LED Driver untuk lampu bohlam LED DC agar sesuai dengan kebutuhan untuk rumah DC ini.

Dengan hasil uji laboratorium, lampu yang berdaya 3 Watt dapat menghasilkan efisiensi 93,16% dengan *luminous efficacy* sebesar 82,29 lm/W. Hal ini menunjukkan lampu ini bisa menghemat energi dan dapat menerangi sebuah ruangan dengan daya yang kecil.

Kata Kunci—Rumah DC, Energi Terbarukan, Sistem Penerangan, Lampu Bohlam LED DC, LED Driver, DC – DC Buck Converter.

I. PENDAHULUAN

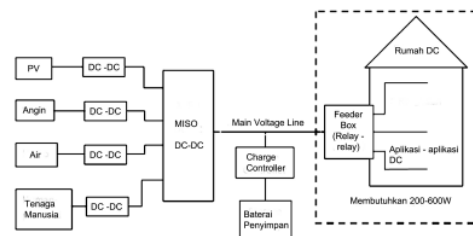
Listrik merupakan salah satu penunjang utama berjalannya roda ekonomi sebuah negara. Kebutuhan listrik semakin lama semakin meningkat seiring dengan bertambahnya populasi manusia. Oleh karena itu diperlukan alternatif – alternatif baru yang dapat membantu penyediaan listrik yang lebih murah dan menggunakan sumber energi yang terbarukan. Rumah DC adalah sebuah rumah yang dapat menyediakan kebutuhan listriknya sendiri dengan pembangkitan sistem rumah DC. Rumah DC dapat menyediakan energi DC sendiri melalui berbagai bentuk pengkonversian energi terbarukan seperti panel surya (*Photovoltaic*), tenaga air, angin, dan tenaga manusia[3]. Salah satu aplikasi yang paling penting dan harus ada dalam sebuah rumah adalah lampu.

Bentuk lampu yang hemat energi dan efisien adalah lampu LED. Studi perancangan lampu LED DC pada tesis milik Kent Liang, *Calpoly University*, menghasilkan lampu bohlam yang efisiensinya 85,63% dengan *range* tegangan antara 24V – 72V dan mengkonsumsi daya sebesar 13,44Watt. Lampu bohlam LED tersebut menghasilkan tingkat penerangan yang cukup untuk di rumah.

II. DASAR TEORI

A. Sistem Rumah DC

Rumah DC adalah sebuah rumah yang dapat menyediakan kebutuhan listriknya sendiri dengan cara pengonversian berbagai bentuk energi terbarukan yang berada di sekitar rumah tersebut. Tujuan rumah DC ini adalah untuk menemukan metode penyediaan listrik dengan biaya rendah[Cabaj, 2012]. Desain dasar rumah DC ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram Blok Sistem Desain Rumah DC

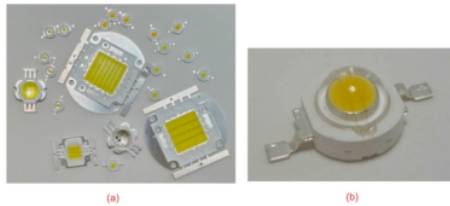
Seperti yang terlihat pada gambar 1 terdapat empat sumber daya terbarukan yang terhubung pada *boost* DC – DC converter masing – masing yang menaikkan tegangan dari 12V hingga 24V. Tegangan ini kemudian menjadi input ke *Multiple-Input-Single-Output* (MISO) DC – DC Converter kemudian terhubung ke *Main voltage line*. *Main voltage line* terhubung ke *charge controller* dan sebuah baterai penyimpan dengan kapasitas tertentu. *Main voltage line* juga terhubung ke *Feeder box* yang terdiri atas relay – relay seperti beberapa *circuit breaker* dan *fuse* untuk mengontrol distribusi energi dan melindungi dari *ground faults* pada rumah DC[1].

B. LED (Light-Emitting Diode)

Dioda cahaya atau lebih dikenal dengan sebutan

2

LED (*Light-Emitting Diode*) adalah suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang tidak koheren ketika diberi tegangan maju. *High-power LED* yang merupakan bahan utama pada perancangan penelitian ini adalah lampu LED dengan teknologi terbaru yang mampu menghasilkan intensitas cahaya yang tinggi (hingga 80-100W/lumen) dengan konsumsi daya yang kecil dengan *driver* untuk menyalakan LED ini. *High-Power LED* menghasilkan panas yang cukup tinggi (*high heat*). Akan tetapi, panasnya bukan berasal dari cahayanya melainkan dari bagian belakang LED tersebut. Sehingga lampu ini membutuhkan *heatsink* (sirip pendingin). *High-Power LED* ditunjukkan pada gambar 2 berikut :



Gambar 2 High-Power LED

C. Switched-Mode Power Supply (SMPS)

SMPS adalah suatu peralatan untuk memberikan sumber DC dengan metode switching (penyaklaran) tegangan pada frekuensi tertentu. *Power supply* ini melakukan konversi daya melalui komponen – komponen yang bersifat rendah rugi dayanya (*low loss component*) seperti kapasitor, induktor, dan transformator. Keuntungan menggunakan SMPS adalah hasil konversi dayanya mempunyai efisiensi tinggi dibandingkan dengan *power supply* konvensional yang efisiensinya rendah.

D. DC – DC Buck Converter

Buck converter adalah salah satu topologi DC – DC konverter yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC masukan. Prinsip kerja rangkaian ini adalah dengan kendali penyalakan. Komponen utama pada topologi *buck* adalah saklar, *diode freewheel*, induktor, dan kapasitor[6].

III. PERANCANGAN

A. Blok Diagram Desain

Diagram blok yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini

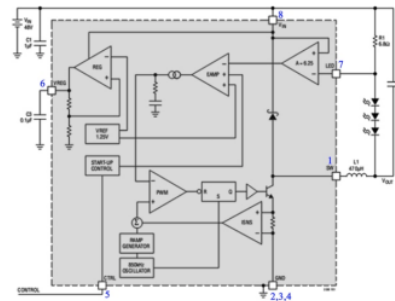


Gambar 3 Diagram Blok Rangkaian[3]

Diagram blok lampu pada gambar 3 adalah gambaran secara umum susunan dalam lampu bohlam hingga dapat menghasilkan cahaya. VIN dan GND dihubungkan langsung dari tegangan bus 48V yang merupakan tegangan utama pada rumah DC.

Kemudian VIN dan GND ini langsung disambungkan pada *LED driver* yang akan dirancang sesuai dengan desain yang diinginkan. Sisi keluaran positif *LED driver* LED_P dihubungkan pada masukan sisi positif *LED array* dan keluaran negatif *LED array* masuk ke sisi negatif pada *LED driver* yaitu LED_N. Jika susunan lampu sesuai dengan diagram blok ini maka LED dapat mengeluarkan cahaya.

Blok Diagram



Gambar 4 Diagram Blok LT3590

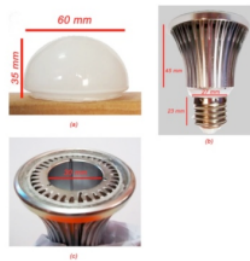
LT3590 merupakan sebuah *high voltage current mode buck mode LED driver* yang mampu membangkitkan arus konstan ke sebuah rangkaian LED hingga tegangan total 40V. Memiliki fitur *internal compensation*, sebuah *internal power switch* 55V dan sebuah *internal Schottky diode* 55V yang dapat meneruskan arus DC hingga 50mA dengan efisiensi hingga 91%[Navabi, 2008].

LT3590 ini mempunyai 3,3V *onboard linear regulator* yang memiliki kemampuan menyuplai hingga 1mA untuk digunakan oleh sebuah peralatan eksternal. Regulator 3,3V tetap tersedia bahkan pada saat keadaan *shut down*. Fitur ini dapat digunakan untuk *power-up* (menyalakan) *external controller* LT3590 yang hasilnya dapat mengontrol arus LED dengan mengaktifkan pin CTRL. Secara alternatif, pin output regulator (V_{REG}) boleh dihubungkan langsung ke pin CTRL (Pin 5). Pin CTRL jika diberi tegangan lebih dari 150mV, maka osilator, komparator PWM, dan *error amplifier* aktif. LT3590 menggunakan *buck mode converter* untuk meregulasi tegangan output ke level tegangan yang dibutuhkan LED agar sesuai dengan arus yang dibutuhkan[5].

B. LED Array

Pada bagian ini, desain dan pemilihan tipe LED akan dibahas. Desain ini harus sesuai dengan dimensi standar yang digunakan di Indonesia. Jadi, desain *LED array* ini harus sesuai dengan dimensi lampu tersebut.

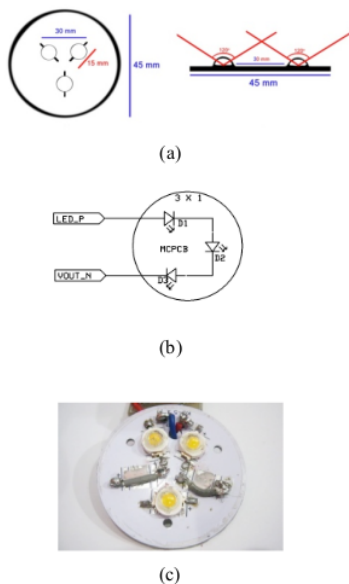
Karena pada penelitian ini tidak dibahas tentang mekanik lampu, maka untuk kerangka lampu akan menggunakan sisa kerangka lampu yang sudah ada. Pada penelitian ini akan digunakan kerangka lampu bohlam LED Royal 12VDC yang telah ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 Mekanik Lampu

a) Light Diffuser (b) Aluminium Heatsink dan E27 Screw Base (c) Diameter Aluminium Heatsink.

LED yang digunakan adalah merek EPISTAR. Dengan melihat spesifikasi lampu di atas bahwa lampu tersebut dapat menghasilkan *luminous flux* sebesar 400 lm, maka tiap LED memiliki *luminous flux* antara 80 – 90 lm. Jadi, jika menggunakan 3 buah LED, maka seharusnya dapat menghasilkan *luminous flux* hingga 240 lm [Epistar, 2011]. Karena menggunakan 3 LED sebaiknya disusun dengan deret berbentuk segitiga di atas sebuah *Metal-Core PCB*. Gambar LED array yang digunakan pada penelitian seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 berikut



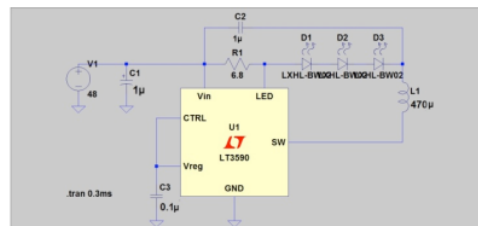
Gambar 6 MCPCB(a)Desain jarak Antar LED (b) Desain Skematik (c) Desain fisik.

Berikut ini akan dijelaskan perhitungan posisi dan jarak antar LED. Karena menggunakan 3 buah LED maka sebaiknya diletakkan dalam posisi segitiga. Hal ini dimaksudkan agar cahaya LED yang keluar sama rata. Kemudian jarak antar LED dihitung dengan mengetahui ukuran LED secara keseluruhan. Panjang tiap LED beserta kakinya adalah 15 mm. Penulis bermaksud meletakkannya pada posisi segitiga sama sisi karena memiliki *viewing angle* sebesar 120°.

Sehingga cara mencari jarak LED yang dilakukan adalah dengan menentukan jarak antar LED tersebut (sisi segitiga sama sisi) berasal dari panjang LED dikalikan 2, sehingga jaraknya adalah 30 mm. Jarak ini merupakan jarak yang paling sesuai dengan diameter MCPCB. Perhitungan ini dimaksudkan agar lampu bohlam dapat menghasilkan tingkat terang yang maksimum. Akan tetapi hal ini dapat menyebabkan cahaya keluar dalam satu spot saja. Oleh karenanya, diperlukan *light diffuser* (Gambar 5) agar cahaya bisa menyebar.

C. LED Driver

Pada gambar 7 dibawah ini merupakan desain LED driver yang akan digunakan pada lampu bohlam DC.

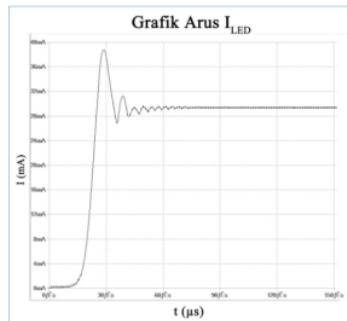


Gambar 7 Skematik LED Driver pada 48V Buck Mode LED Driver

Dengan spesifikasi komponen sebagai berikut

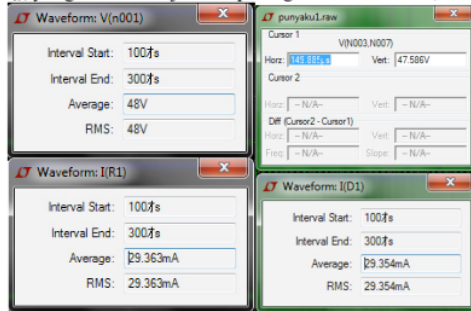
- Resistor yang digunakan disesuaikan dengan spesifikasi LED yang digunakan, yaitu arus maju maksimum 0,35A, tegangan 3,3V dan dayanya 1Watt. Dari rekomendasi yang dipersyaratkan [Linear, 2008], dipilih resistor 6,8Ω untuk menghasilkan I_{LED} 30mA.
- Induktor L_1 ditentukan sebesar 470μH, karena $V_{IN} > 25V$ (jika $V_{IN} < 25V$ menggunakan induktor sebesar 220μH) untuk menjaga arus DC tetap konstan.
- Kapasitor C_2 merupakan kapasitor regulator pada LED array, karena menggunakan LED sebanyak 3 buah, maka C_2 menggunakan kapasitor keramik sebesar 1μF. Untuk kapasitor input C_3 dianjurkan menggunakan kapasitor keramik sebesar 0,1μF. Kapasitor output C_1 yang digunakan adalah kapasitor elektrolit sebesar 1μF sesuai yang dianjurkan pada datasheet dengan tegangan kapasitor 50V [Linear, 2008].

Kemudian keluaran LED driver akan ditunjukkan dan dianalisis dengan menggunakan program simulasi LTSpice untuk I_{LED} dan I_{L1} yang ditunjukkan pada gambar 8.

Gambar 8 Grafik I_{LED} terhadap t

Grafik I_{LED} ditunjukkan pada gambar 8 merupakan grafik arus terhadap waktu yang terjadi pada D_1 . Namun karena LED dipasang seri, maka grafik arus pada D_2 dan D_3 juga sama. Arus yang masuk ditentukan oleh besarnya resistor R_1 yang dipasang.

Dengan simulasi ini dapat kita dapatkan P_{LED} dan P_{IN} yang akan ditunjukkan pada gambar 9 berikut,



(a)

(b)

Gambar 9 Besar (a) V_{IN} dan I_{IN} (b) V_{OUT} dan I_{OUT} Pada Simulasi LTSpice

Untuk menghitung efisiensinya, data pada gambar 9 dihitung menggunakan persamaan 1 dan hasilnya harus dikalikan 3 karena menggunakan LED sebanyak 3 buah. Kemudian untuk mengetahui efisiensi dari hasil ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan menggunakan data pada gambar 9 kemudian dihitung dengan persamaan 1 dan 2 didapatkan efisiensi lampu yang dihasilkan melebihi 80% yaitu 97,51%.

D. Hasil Simulasi

Hasil simulasi secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 1 Hasil Desain dan Simulasi Lampu Bohlam LED DC

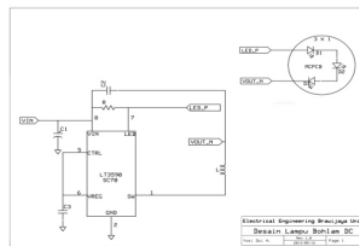
Parameter	Spesifikasi
Tegangan Bus (Simulasi): V_{IN}	48V
Tegangan Output keadaan Buck Mode : V_{LED}	0V – 12V
Efisiensi Beban Penuh*	97,51%
Total Konsumsi Daya*	4,189W
Jumlah LED yang diseri	3 buah
Color Temperature	Cool White
Suhu LED Junction Maksimum	85°C
Luminous Flux	Hingga 240lm
Tegangan Maju Maksimum	3,25V
Arus Maju Maksimum LED	350mA
Menggunakan Tegangan Regulasi Konstan	Ya
Menggunakan Arus Regulasi Konstan	Ya

*Hasil Simulasi menggunakan AOT-2005 (x3)

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

A. Desain Layout PCB Custom 2-layer

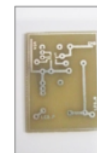
Untuk desain PCB lampu bohlam ini ada dua langkah. Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat skematik rangkaian. Pada penelitian ini menggunakan ExpressSCH. Setelah selesai membuat rangkaian skematik barulah bisa membuat desain PCB yang menggunakan aplikasi ExpressPCB yang merupakan aplikasi desain PCB yang menyediakan mulai dari 2-layer sampai 4-layer.



Gambar 10 Desain Skematik untuk Lampu Bohlam DC menggunakan ExpressSCH

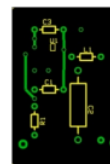


(1)

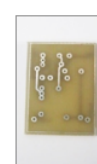


(2)

Layer 1 (1) Desain Skematik (2) Desain Fisik (a)



(1)



(2)

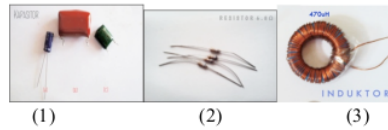
Layer 2 (1) Desain Skematik (2) Desain Fisik (b)

Gambar 11 Desain PCB 2 Layer.[penulis]

Gambar (a) menunjukkan layer pertama(b) menunjukkan layer kedua.

Setelah dicetak desain layer PCB yang berdimensi 3,5 x 2,5 cm di atas, dapat dipasang komponen – komponen serupa yang sudah ditentukan pada *datasheet* LTSpice.

Berikut ini akan ditunjukkan komponen – komponen yang digunakan pada perancangan lampu bohlam LED DC ini.



Gambar 12 Komponen – Komponen Pada Rangkaian

Luar[Penulis]

- (1) Kapasitor (a) Polar 1 μ F (b) Nonpolar 1 μ F (c) Nonpolar 0,1 μ F; (2) Resistor; (3) Induktor

B. Desain LED Array dan Heatsink

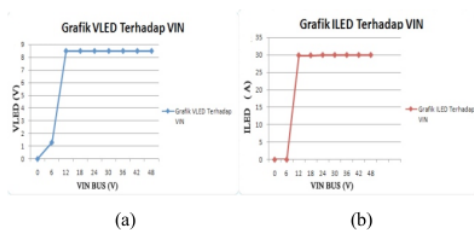
Untuk desain LED array dan heatsink ini, seperti yang telah dijelaskan pada bab III (Perancangan).

C. Pengujian Efisiensi

Berikut ini adalah tabel hasil pengukuran menggunakan multimeter yang dilakukan untuk mendapatkan V_{LED} dan I_{LED} pada masukan V_{IN} mulai dari 0V – 48V.

Tabel 3 Tabel Data Hasil Pengukuran Lampu Bohlam LED DC.

V_{IN} (V)	I_{IN} (mA)	P_{IN} (W)	V_{LED} (V)	I_{LED} (mA)	V_{OUT} (V)	P_{OUT} (W)	EFISIENSI	KONDISI LAMPU
0	0	0	0	0	0	0	-	Padam
6	0.6	0.0108	1.3	0	4.3	0	0	Padam
12	122	4.3920	8.5	29.9	3.9	0.3498	7.9652	Menyala
18	70.8	3.8232	8.5	29.9	9.7	0.8701	22.7582	Menyala
24	52.3	3.7656	8.5	30	17.7	1.5930	42.3040	Menyala
30	40.6	3.6540	8.5	30	23.8	2.1420	58.6207	Menyala
36	35.8	3.8664	8.5	30	29	2.6100	67.5047	Menyala
42	30.9	3.8934	8.5	30	32.9	2.9610	76.0518	Menyala
48	26.5	3.8160	8.5	30	39.6	3.5640	93.3962	Menyala



Gambar 13 Grafik (a) V_{LED} terhadap V_{IN} dan (b) I_{LED} terhadap V_{IN}

Sesuai dengan prinsip kerja LT3590 yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, bahwa dengan membandingkan tegangan yang masuk pada PWM komparator, maka tegangan yang keluar dari PWM komparator tersebut akan menentukan besar arus yang masuk ke LED.

Lampu LED ini secara teori belum bisa menyala sebelum berada pada tegangan input 11,59V dengan perhitungan menggunakan rumus pada *datasheet*. Sedangkan pada prakteknya belum menyala sebelum

mencapai $V_{IN} = 10V$. Pada perhitungan efisiensi ini didapatkan efisiensi lampu sebesar 93,39%, hal ini membuktikan bahwa lampu hasil perancangan ini memiliki efisiensi yang tinggi.

D. Pengujian Suhu

Untuk pengujian suhu perangkat lampu bohlam DC ini menggunakan thermometer infrared yaitu merupakan alat pengukur suhu yang menggunakan laser.



Gambar 14 Termometer Infra Merah

Untuk suhu LED *Junction* maksimum telah dijelaskan pada *homepage* Epistar adalah 85°C dan agar LED dapat berumur panjang sebaiknya suhu yang terukur kurang dari suhu maksimum tersebut [Epistar, 2011].

Tabel 4 Hasil Pengukuran Suhu Pada PCB dan LED Array Menggunakan Termometer Infra Merah

t (Menit)	Suhu (°C)					
	Hari 1		Hari 2		Hari 3	
	PCB	LED Array	PCB	LED Array	PCB	LED Array
0	28	28.3	27	28	28	28.4
5	29	31.9	27.7	32.1	28.9	34.3
10	31	35.2	28.2	34.5	31	33.6
15	33	40.3	28.6	41.1	32	43.3
20	35	43	29	42.1	33.5	41.4
25	36.4	46.6	29.4	45	35	47.1
30	35.8	51	31	50.5	35.4	50.2
35	35.9	53.5	32.1	55.9	35.9	55.1
40	36	55.3	34.5	58.3	36	58.1
45	36	58.6	34.9	59.9	36.1	60
50	36	61.3	35.5	61.3	36.6	61.6
55	36	61.4	35.5	61.7	37	61.8
60	36	61.4	35.6	61.8	36.9	61.8

Pada tabel hasil pengukuran suhu (tabel 4), didapatkan suhu berada dibawah 85°C. Dengan suhu di atas keadaan LED berada pada tingkat aman sehingga dapat berumur panjang. Akan tetapi posisi *aluminium heatsink* yang ditempelkan pada MCPCB kurang tepat. Jadi, apabila rangkaian lampu berada dalam kerangka dan MCPCB ditempelkan tepat pada *aluminium heatsink* tersebut, dapat diperkirakan suhu bisa lebih dingin daripada yang disebutkan pada tabel.

E. Pengujian Tingkat Terang

Pada pengujian tingkat terang ini menggunakan alat lux meter terlebih dahulu. Setelah mendapatkan data menggunakan alat ukur ini yaitu dalam lm/m^2 maka dapat mencari *luminous efficacy* dengan menggunakan beberapa rumus berikut

$$\text{luas bola} = 4\pi r^2 \quad (3)$$

$$1\text{lux} = \frac{\text{luminous flux}}{m^2} \quad (4)$$

$$\text{luminous efficacy} = \frac{\text{lumen}}{\text{W}} \quad (5)$$

$$F_{\text{total}} = \frac{F \times A}{N_p \times N_s} \quad (6)$$

Jarak antara lampu dengan luxmeter ditentukan sejauh 100 cm didapatkan dengan persamaan 6. pada jarak tersebut didapatkan intensitas cahaya sebesar 25 lux. Dengan data ini dan dihitung menggunakan persamaan 3,4, dan 5. Sehingga didapatkan *luminous flux* sebesar 314 lumen dan didapatkan pula *luminous efficacy* sebesar 82,29 lumen/W pada tegangan 48V.

Tabel 5 Tabel Pengukuran dan Perhitungan Intensitas Cahaya

no	Jarak (m)	Kuat Pencabayaan (Lux)	V _{IN}	I _{IN}	P _{IN}	Luas bola (m ²)	Luminous Flux (lm)	Luminous Efficacy (lm/W)
1	1	25	0	0	0	12.56	314.00	0.00
2	1	25	6	0.6	0.0108	12.56	314.00	0.00
3	1	25	12	1.22	4.392	12.56	314.00	71.49
4	1	25	18	1.708	3.8232	12.56	314.00	82.13
5	1	25	24	2.23	3.7656	12.56	314.00	83.39
6	1	25	30	40.6	3.654	12.56	314.00	85.93
7	1	25	36	35.8	3.8664	12.56	314.00	81.21
8	1	25	42	30.9	3.8934	12.56	314.00	80.65
9	1	25	48	26.5	3.816	12.56	314.00	82.29

Dengan melakukan perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa lampu bohlam LED ini telah memenuhi kriteria kebutuhan minimum penerangan dalam ruangan suatu rumah.

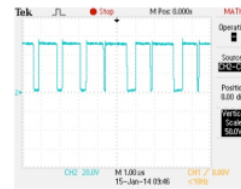
F. Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengujian

Untuk perbandingan hasil pengujian dan hasil simulasi yang lebih jelas akan ditampilkan pada tabel 6 berikut ini.

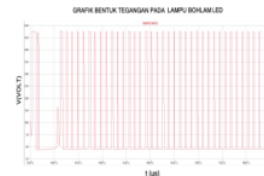
Tabel 6 Tabel Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengujian

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengujian
Range tegangan input	12V - 48V	12V - 48V
Tegangan LED (V _{LED})	8.645V	8.5V
Efisiensi Pada Beban Penuh	93.51%	93.39%
Konsumsi Daya	4.189W	3.86W
Manufaktur LED	AOT	EPISTAR
Jumlah LED yang diseri	3 buah	3 buah
Luminous Efficacy	80 lm/W	82.29 lm/W
Luminous Flux	240 lm	314 lumen
Arus Maksimum	350mA	30mA
Suhu Maksimum	85°C	61.8°C
Regulasi Arus Konstan	Ya	Ya
Regulasi Tegangan Konstan	Ya	Ya

Seperti yang telah ditampilkan pada tabel 6 di atas bahwa hasil pengujian menghasilkan data yang mendekati hasil simulasi. Kemudian akan ditunjukkan grafik tegangan teregulasi pada LT3590 dengan grafik simulasi dibandingkan dengan grafik osiloskop



(a)



(b)

Gambar 15 Grafik Tegangan Teregulasi (a) Hasil Osiloskop (b) Hasil Simulasi

Gambar 15 menunjukkan grafik karakteristik yang dihasilkan oleh LT3590 yang merupakan *buck mode LED driver*. Keduanya menunjukkan bentuk tegangan yang melalui LED yang besarnya sekitar 48V.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

- Pada simulasi desain lampu bohlam LED DC ini sesuai dengan desain elektrik yang diinginkan. Hasil simulasi tersebut menghasilkan efisiensi sebesar 98% yang bekerja pada tegangan bus sebesar 48VDC. Lampu ini juga berdaya 3W saja. Sedangkan uji laboratorium efisiensi lampu yang dihasilkan adalah 93,39%.
- Desain fisik lampu ini seharusnya sudah memenuhi syarat dimensi lampu yang umum dipakai di Indonesia. Akan tetapi, ukuran inti ferit induktor yang digunakan sangat besar, sehingga PCB lampu tidak bisa dimasukkan ke dalam kerangka lampu.
- Untuk *luminous flux*, dan *luminous efficacy* pada hasil uji laboratorium didapatkan sebesar 314 lumen dan 82,29 lm/W. Dengan hasil ini, dapat dikatakan bahwa lampu hasil rancangan pada penelitian ini dapat memenuhi criteria penerangan suatu ruangan.
- Suhu LED yang sangat tinggi seharusnya dapat diantisipasi dengan *aluminium heatsink*. Akan tetapi, seperti yang dijelaskan sebelumnya, bahwa PCB LED *driver* lampu tidak dapat dimasukkan ke dalam kerangka karena induktor yang sangat besar. Sehingga, MCPCB lampu LED ini juga tidak bisa ditempelkan pada *aluminium heatsink* tersebut. Walaupun pada pengujian suhu menggunakan thermometer infra merah masih menunjukkan angka dibawah 85°, jika MCPCB dapat ditempelkan pada *aluminium heatsink*, maka suhu LED masih bisa di bawah suhu yang sudah terukur

B. SARAN

- Perlu melakukan penelitian lebih lanjut terhadap rangkaian luar untuk chip LT ini sendiri agar

mendapatkan hasil lampu yang baik dengan efisiensi yang lebih tinggi.

2. Pengembangan juga bisa dilakukan misalnya dengan meningkatkan *range* tegangan input, memberikan rangkaian *dimmer* pada lampu, dan memperkecil ukuran PCB LED Driver.
3. Pemilihan induktor juga perlu diteliti kembali agar ukuran induktor tersebut sesuai dengan LED Driver dan dapat dimasukkan kedalam kerangka lampu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cabaj. Mark, *DC House Model Design and Construction*. Senior Project, San Luis Obispo, CA: Cal Poly State University, 2011.
- [2] Epistar Co. [2011, October 03] "*EPISTAR LAB Launched a New Platform to Achieve 3.0V White LED Chip at 1A Operation*" [Internet]. Tersedia: http://www.epistar.com.tw/english/04_pr/02_detail.php?SID=2
- [3] Liang. Kent, "*Design of DC Light Bulb for DC House Project*", San Luis Obispo, CA: Cal Poly State University, 2012.
- [4] Linear Technology, "*LT3590, 48V Buck Mode LED Driver in SC70 and 2mm x 2mm DFN Datasheet*". Tersedia: <http://www.linear.com>
- [5] Navabi, Mohammad J. [2008, January] "*Efficient 48V Buck Mode LED Driver Delivers 50mA*" Linear Technology Magazine. Tersedia: <http://www.linear.com>
- [6] Riwi1403. [2010, June 23]. "*Dasar Teori Buck Converter*" [Internet]. Tersedia: <http://www.scribd.com/doc/33454045/Bab-II-Dasar-Teori>

Rancang Bangun Inverter Tiga Fasa Menggunakan Metode Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) untuk Mengatur Putaran Motor Induksi Tiga Fasa

Desta Wahyu Diantoro
D4 Teknik Elektro Industri
Politeknik Elektronika Negeri
Surabaya
Surabaya, Indonesia
destawahyudiantoro@gmail.com

Ir. M. Zaenal Efendi, MT
D4 Teknik Elektro Industri
Politeknik Elektronika Negeri
Surabaya
Surabaya, Indonesia
zenefendi@gmail.com

Eka Prasetyono, S.ST, MT
D4 Teknik Elektro Industri
Politeknik Elektronika Negeri
Surabaya
Surabaya, Indonesia
eka@cepis-its.edu

Abstract— Pemanfaatan tegangan input dan output pada sebuah inverter menjadi salah satu penentu baik tidaknya suatu inverter. Apabila nilai tegangan output hampir sama dengan tegangan input maka dikatakan baik, tetapi jika tegangan output jauh di bawah tegangan input maka dikatakan kurang baik. Salah satu faktor penyebab selisih nilai tegangan input dan tegangan output tersebut adalah teknik switching yang digunakan pada sebuah inverter. Pada proyek akhir ini dibuat voltage source inverter (VSI) tiga fasa menggunakan teknik switching space vector pulse width modulation (SVPWM) yang diaplikasikan untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa 0,75 kW. Teknik switching space vector pulse width modulation (SVPWM) menghasilkan tegangan output sampai 90,6 % dari tegangan input. Hasil yang diperoleh saat frekuensi seting inverter sama dengan 50 Hz, tegangan output inverter 222 Volt dengan tegangan input 216 Volt.

Kata kunci—tegangan input; tegangan output; space vector pulse width modulation (SVPWM)

I. PENDAHULUAN

Industri merupakan salah satu pengguna motor induksi dalam berbagai proses, antara lain produksi, pengemasan, inspeksi, dan lain-lain. Motor induksi yang paling sering digunakan adalah jenis sangkar bajing (squirrel cage) karena memiliki efisiensi yang tinggi dan rendah biaya perawatan.

Untuk memenuhi efisiensi daya, kecepatan putar motor induksi harus disesuaikan sesuai dengan kebutuhan. Misalnya untuk konveyor bagian proses pengemasan memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan konveyor pada bagian proses inspeksi. Maka dari itu kecepatan putar motor induksi harus dikontrol. Salah satu cara pengontrolan kecepatan putar motor induksi adalah dengan menggunakan inverter.

Inverter merupakan suatu alat untuk mengubah tegangan direct current (DC) menjadi tegangan alternating current (AC). Dengan menggunakan inverter, tegangan AC yang menjadi input motor induksi tiga fasa bisa dikontrol. Semakin tinggi

tegangan input motor induksi maka semakin cepat putaran motor induksi, semakin rendah tegangan input motor induksi maka semakin lambat putaran motor induksi. Besar kecilnya tegangan output inverter (tegangan input motor induksi tiga fasa) dipengaruhi oleh teknik switching yang digunakan pada suatu inverter. Teknik switching yang baik akan menghasilkan nilai tegangan output inverter yang hampir sama dengan nilai tegangan input inverter. Ada beberapa teknik switching yang digunakan pada inverter, antara lain:

a. Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

Teknik switching SPWM berbasis pada perbandingan antara gelombang carrier (segitiga) dengan gelombang sinusoidal murni. Teknik switching SPWM hanya memanfaatkan tegangan input sebesar 78,5 %. Sehingga tegangan output maksimum dengan teknik switching SPWM memiliki nilai 78,5 % dari nilai tegangan input-nya. Hal tersebut jauh lebih kecil dari gelombang six-step (100 %). [1 hal. 2]

b. Third Harmonic Injection Pulse Width Modulation (THIPWM)

Teknik switching THIPWM berbasis pada perbandingan antara gelombang carrier (segitiga) dengan gelombang sinusoidal yang ditambah dengan harmonisa ketiga. Teknik switching THIPWM mampu menaikkan pemanfaatan tegangan input 15,5 % lebih besar dari teknik switching SPWM. Sehingga tegangan output maksimum dengan teknik switching THIPWM memiliki nilai 15,5 % lebih tinggi dibandingkan dengan teknik switching SPWM. [1 hal. 2]

c. Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM)

Teknik switching SVPWM memiliki hasil yang menyerupai teknik switching THIPWM, yaitu mampu menaikkan pemanfaatan tegangan input 15,5 % dibanding teknik switching SPWM tetapi keduanya memiliki metode yang benar-benar berbeda [1 hal. 3]. Apabila teknik switching THIPWM menggunakan gelombang referensi berupa gelombang sinusoidal ditambah harmonisa ketiga, maka pada teknik

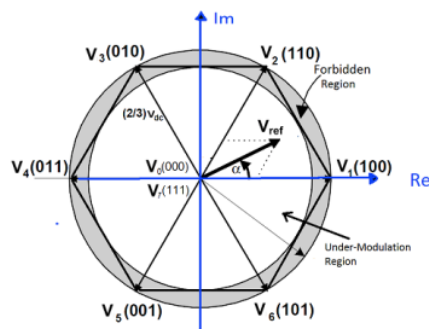
switching SVPWM menggunakan gelombang referensi berupa penjumlahan vektor pada masing-masing sektornya.

Teknik switching SVPWM dibagi dalam dua wilayah operasi, yaitu under modulation region dan over modulation region. Penambahan tegangan output maksimum 15,5 % dari teknik switching SPWM terjadi pada under modulation region. Lebih dari itu, pada over modulation region pemanfaatan tegangan input dapat ditingkatkan karena pada over modulation region nilai modulation index (MI) 0,907 sampai 1. Sedangkan pada under modulation region nilai MI 0,577. [1 hal. 44]

Hardware pada penelitian ini adalah voltage source inverter (VSI) tiga fasa dimana teknik switching SVPWM dilakukan secara software yang ditanamkan pada mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah STM32F407VG dengan central processing unit (CPU) 168 MHz sehingga diharapkan diperoleh performa inverter yang baik. Agar mengetahui apakah teknik switching SVPWM memiliki performa yang lebih baik maka pada penelitian ini teknik switching SVPWM dikomparasi dengan teknik switching SPWM.

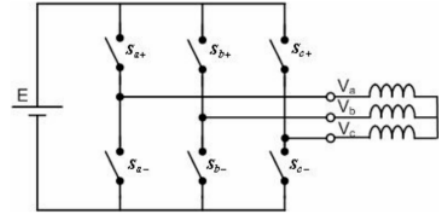
II. SPACE VECTOR PULSE WIDTH MODULATION

Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) adalah salah satu teknik *switching* yang digunakan pada pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa. SVPWM didapatkan dengan memutar vector referensi sekitar state diagram, terdiri dari enam dasar vector non-zero yang membentuk segi enam. Sebuah lingkaran dapat dituliskan di dalam state map dan sesuai dengan operasi sinusoidal. Daerah di dalam lingkaran disebut linier modulation region atau under-modulation region. Daerah diantara dalam lingkaran dan luar lingkaran dari segi enam disebut non-linier modulation region atau over-modulation region. Seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Under-modulation dan over-modulation region [1 hal. 17]

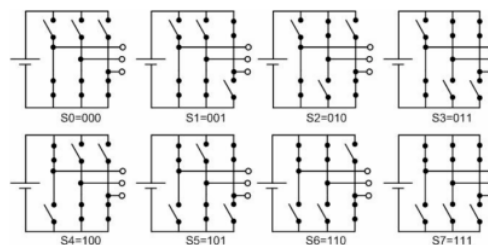
Konsep dalam daerah operasi modulasi linier dan nonlinier tergantung pada indeks modulasi, yang secara tidak langsung merepresentasikan kemampuan pemanfaatan inverter. Prinsip dari SVPWM adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Struktur inverter tiga fasa terhubung motor induksi tiga fasa [2 hal. 2]

Gambar 2 memperlihatkan rangkaian pengganti motor induksi tiga fasa yang terhubung pada inverter. Karena motor dianggap sebagai beban seimbang yang terhubung dengan netral, $V_n = (V_a + V_b + V_c)/3$, $V_{an} = V_a - V_n = (V_{ab} - V_{ca})/3$; $V_{bn} = V_b - V_n = (V_{bc} - V_{ab})/3$; dan $V_{cn} = V_c - V_n = (V_{ca} - V_{bc})/3$. Karena saklar pada high side (S_a , S_b , S_c) hanya bisa ON atau OFF, dan pada low side (S_{a-} , S_{b-} , S_{c-}) merupakan kebalikan dari high side, sehingga hanya ada delapan kemungkinan switching, sebagaimana pada Gambar 2.9. Enam dari delapan kemungkinan switching tersebut menyebabkan tegangan fasa tidak nol, dan dua dari delapan kemungkinan switching tersebut dipertukarkan mengarah ke tegangan fasa nol. Bila dipetakan dalam 2D ke stator menggunakan transformasi Concordia sebagaimana persamaan (1), enam tegangan fasa tidak nol tersebut membentuk hexagonal sebagaimana pada Gambar 4. [2 hal. 2]

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

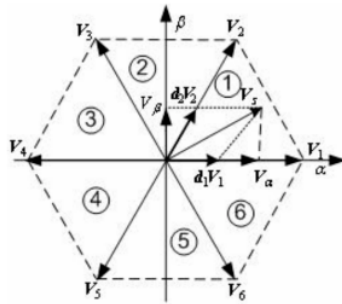


Gambar 3. Delapan kemungkinan switching inverter tiga fasa [2 hal. 2]

Seperti yang terlihat pada Gambar 4, sudut di antara dua tegangan tidak nol secara berurutan selalu 60 (enam puluh) derajat. Dalam bentuk yang kompleks, tegangan tidak nol dapat dituliskan sebagaimana persamaan (2) di bawah ini.

$$V_k = E_g e^{j(k-1)\frac{\pi}{3}} \quad (2)$$

di mana $k = 1..6$ dan $V_0 = V_7 = 0$ V. Pada tabel 1 ditunjukkan tegangan *line-to-line* dan *line-to-neutral* di masing-masing 8 (delapan) kemungkinan konfigurasi dari inverter. [2 hal. 3]



Gambar 4. Representasi delapan kemungkinan konfigurasi switching dalam referensi Concordia [2 hal. 3]

TABEL 1. KONFIGURASI SWITCHING DAN TEGANGAN OUTPUT INVERTER TIGA FASE [2 HAL. 3]

S_a	S_b	S_c	S_1	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_α	V_β	V_i
0	0	0	S_0	0	0	0	0	0	0	0	0	V_0
0	0	1	S_1	0	-E	E	-E/3	E/3	-E/3	-E/2	$-E\sqrt{3}/2$	V_5
0	1	0	S_2	-E	E	0	E/3	E/3	-E/3	-E/2	$E\sqrt{3}/2$	V_3
0	1	1	S_3	-E	0	E	$2E/3$	-E/3	-E/3	-E	0	V_4
1	0	0	S_4	E	0	-E	$2E/3$	E/3	-E/3	E	0	V_1
1	0	1	S_5	E	-E	0	E/3	-E/3	E/3	E/2	$-E\sqrt{3}/2$	V_6
1	1	0	S_6	0	E	-E	E/3	E/3	$2E/3$	E/2	$E\sqrt{3}/2$	V_2
1	1	1	S_7	0	0	0	0	0	0	0	0	V_7

TABEL 2. EKSRESI DUTY CYCLE PADA MASING-MASING SEKTOR [2 HAL. 4]

Nomor Sektor	θ	d_k	d_{k+1}
1	$0, \frac{2\pi}{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(\frac{\pi}{3} - \theta)$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(\theta)$
2	$\frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(\frac{\pi}{3} + \theta)$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(\frac{5\pi}{3} + \theta)$
3	$\frac{2\pi}{3}, \pi$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(\theta)$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(\frac{4\pi}{3} + \theta)$
4	$\pi, \frac{4\pi}{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(\frac{5\pi}{3} + \theta)$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(2\pi - \theta)$
5	$\frac{4\pi}{3}, \frac{5\pi}{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(\frac{4\pi}{3} + \theta)$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(\frac{2\pi}{3} + \theta)$
6	$\frac{5\pi}{3}, 2\pi$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(2\pi - \theta)$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_s}{E} \sin(\frac{\pi}{3} + \theta)$

Dalam susunan Concordia, banyak tegangan stator terletak di samping hexagon milik salah satu dari enam sektor, dan dapat diekspresikan sebagai kombinasi linier dari dua tegangan fasa tidak nol yang mana membatasi sektor ini:

$$V_s = d_k V_k + d_{k+1} V_{k+1} \quad (3)$$

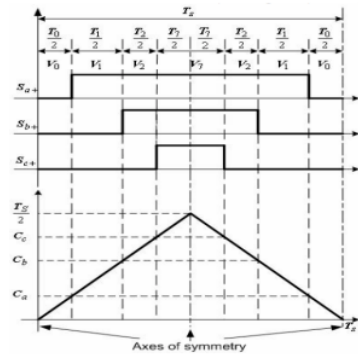
Persamaan (3) ke persamaan berikut ini:

$$V_{sm} \cos(\theta) + j V_{sm} \sin(\theta) \quad (4)$$

pada setiap sektor mengarah pada ekspresi *duty cycle* yang diperlihatkan pada tabel 2. Karena inverter tidak bisa menghasilkan V_s , prinsip SVPWM terdiri dalam menghasilkan T_s , yaitu tegangan periodik yang mempunyai nilai *average* sama dengan V_s , dengan membangkitkan V_k selama $T_k = d_k T_s$ dan V_{k+1} selama $T_{k+1} = d_{k+1} T_s$. Karena $d_k + d_{k+1} \leq 1$, tegangan ini harus dilengkapi dengan periode *over switching* T_s dengan V_0 dan/atau V_7 . Beberapa solusi yang mungkin, dan salah satunya adalah meminimalisasi total harmonisa arus stator yang terdiri dalam penerapan V_0 dan V_7 selama pada durasi yang sama

$$T_0 = T_7 = \frac{1 - d_k - d_{k+1}}{2} \quad (5)$$

V_0 sama dengan saat mulai dan berakhirnya periode *switching*, di mana V_7 diterapkan di tengah. Sebagaimana dalam ilustrasi, *high side* pada Gambar 5. Lihat bentuk gelombang yang diperoleh pada sektor 1. [2 hal. 4]



Gambar 5. Bentuk gelombang switch inverter dan kesesuaian perbandingan register value [2 hal. 5]

TABEL 3. PERBANDINGAN REGISTER VALUE DAN NOMOR SEKTOR [2 HAL. 6]

Sector Number	$\frac{4}{T_s} C_a - 1$	$\frac{4}{T_s} C_b - 1$	$\frac{4}{T_s} C_c - 1$
1	$-d_a - d_b$	$d_a - d_b$	$d_a + d_b$
2	$-d_a + d_b$	$-d_a - d_b$	$d_a + d_b$
3	$d_a + d_b$	$-d_a - d_b$	$d_a - d_b$
4	$d_a + d_b$	$-d_a + d_b$	$-d_a - d_b$
5	$d_a - d_b$	$d_a + d_b$	$-d_a - d_b$
6	$-d_a - d_b$	$d_a + d_b$	$-d_a + d_b$

III. METODE

a. Pembangkit Gelombang Referensi Sinus Fundamental (SPWM)

Proses pembentukan gelombang sinusoidal mengacu pada persamaan 6. Pembuatan gelombang sinusoidal tiga fasa dapat dilakukan dengan mengubah nilai tetha pada persamaan 6. Apabila fasa R memiliki nilai tetha 0° , maka fasa S memiliki nilai tetha 120° dan fasa T memiliki nilai tetha 240° . Tetapi nilai tetha tersebut harus

dikonversi ke dalam radian karena pemrograman pada mikrokontroler menggunakan bahasa C.

$$V_{fasa} = ma \times V_{max} \times \sin(\omega t + \theta) + offset \quad (6)$$

Dimana:

V_{fasa} = Tegangan fasa

ma = modulation amplitude

V_{max} = nilai maksimum

ωt = kecepatan sudut sinyal referensi

$offset$ = nilai offset sinyal referensi

b. Pembangkit Gelombang Referensi sinus (SVPWM)

Proses pembentukan gelombang referensi SVPWM melalui suatu tahapan. Berawal dari konfigurasi switching inverter tiga fasa pada Gambar 3 kemudian direferensikan ke dalam Gambar 4. Pada Gambar 4 ditunjukkan perbedaan 60° untuk masing-masing sektor. Besaran tegangan tiga fasa diwakili oleh V_s yang berputar dari sektor 1 sampai sektor 6 secara terus-menerus. V_s ditransformasikan pada vektor alpha dan vektor betha untuk tiap sektor. Untuk mendapatkan nilai V_s dilakukan pembobotan terhadap duty cycle ($d1V1$ dan $d2V2$). Dari pembobotan tersebut diperoleh 12 persamaan untuk mendapatkan nilai sesaat V_s pada keenam sektor sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

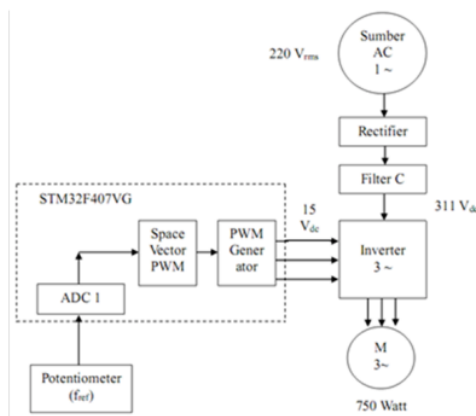
Gelombang sinus (SVPWM) tiga fasa diperoleh dari dekomposisi dua vektor aktif yang direpresentasikan dari nilai duty cycle T_a dan T_b , sehingga gelombang sinus (SVPWM) sebagaimana persamaan 7 di bawah ini.

$$V_s = \frac{T_s}{2} \pm T_a \pm T_b \quad (7)$$

Operator plus minus ditentukan dari letak sektor gelombang V_s sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

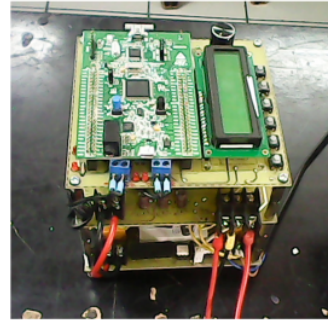
IV. DESAIN ALAT

A. Blok Diagram Sistem



Gambar 6. Blok diagram sistem

Sistem yang akan dibuat berupa inverter 3 fasa yang digunakan untuk mengontrol kecepatan putar motor induksi tiga fasa dimana *switching* inverter tiga fasa menggunakan metode SVPWM. SVPWM dibangkitkan dari algoritma pemrograman pada mikrokontroler. Sedangkan tegangan suplai untuk inverter didapatkan dari tegangan AC yang disearahkan sebagaimana Gambar 6. Sedangkan alat yang dibuat sebagaimana Gambar 7 di bawah ini.

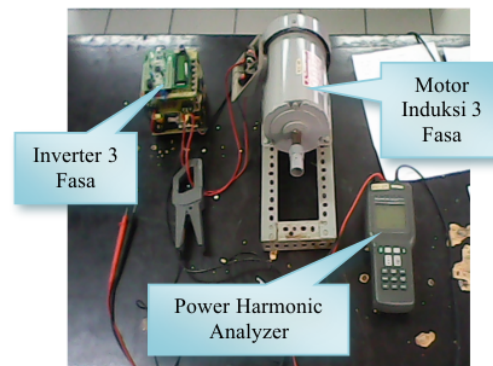


Gambar 7. Alat yang telah dibuat

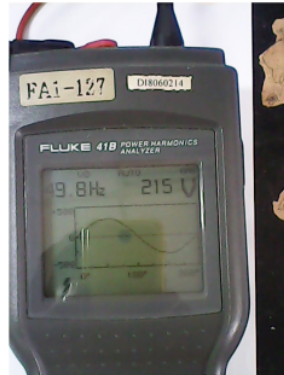
B. Desain Pembangkit Sinyal Referensi SVPWM

Pembangkitan sinyal SVPWM dilakukan dengan berdasar pada konsep SVPWM, yaitu menentukan tegangan referensi untuk setiap sektor. Proses penentuan tegangan referensi untuk masing-masing line adalah menentukan nilai alpha dan beta, nilai alpha dan beta akan menentukan besarnya magnitude, akan didapatkan dua nilai magnitude, yaitu magnitude pada sumbu alpha dan beta. [Tabel 2] Setelah itu dengan mengonversi ke dalam bentuk tiga fasa maka akan di dapatkan tegangan masing-masing line. [Tabel 3]

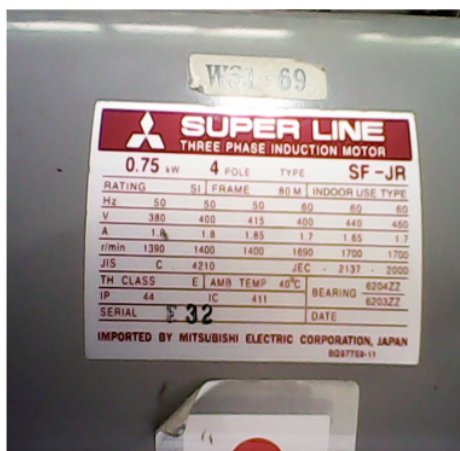
V. HASIL PENGUJIAN ALAT



Gambar 8. Pengujian alat



Gambar 9. Tegangan jala-jala PLN saat dilakukan pengujian



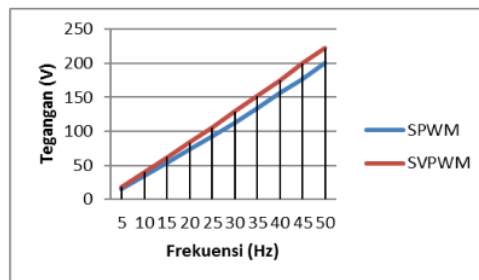
Gambar 10. Spesifikasi motor induksi 3 fasa yang digunakan

Pengujian ini bertujuan membandingkan tegangan output dengan menggunakan teknik SPWM dan teknik SVPWM. Pengujian dilakukan dengan mengambil data tegangan untuk setiap frekuensi yang berbeda. Frekuensi yang diambil datanya adalah 5-50 Hz dengan step 5 Hz pada masing-masing teknik switching (SPWM dan SVPWM). Data hasil pengujian sebagaimana Tabel 2 di bawah ini:

TABEL 4. DATA PENGUJIAN ALAT MENGGUNAKAN METODE SPWM DAN SVPWM

No.	Frekuensi (Hz)	Vout SPWM (V)	Vout SVPWM (V)
1	5	14.5	17.9
2	10	34.1	39.9
3	15	53.8	62.1
4	20	73.1	83.5
5	25	92.5	105.3
6	30	112	129
7	35	134	152
8	40	156	175
9	45	177	200
10	50	200	222

Sebagaimana data yang terdapat pada Tabel 4, nilai tegangan output teknik SVPWM memiliki nilai yang lebih besar dari teknik SPWM. Pada frekuensi 50 Hz teknik SPWM menunjukkan nilai tegangan antar fasa sebesar 200 V sedangkan pada teknik SVPWM menunjukkan 222 V. Hal ini membuktikan bahwa tegangan *rms* antar fasa teknik SPWM bernilai 0.866 dari tegangan input DC sebesar 311 Vdc, penurunan ini dikompensasi dengan peningkatan 15.5% secara teori pada teknik SVPWM. Data komparasi tegangan output teknik SPWM dengan teknik SVPWM dapat dinyatakan ke dalam bentuk grafik sebagaimana Gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Grafik tegangan output teknik SPWM dan SVPWM

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan data pengujian alat dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Sebagaimana Tabel 3 pada frekuensi yang sama tegangan output menggunakan teknik SVPWM lebih tinggi dibanding dengan tegangan output teknik SPWM, hal tersebut karena gelombang PWM output teknik SVPWM lebih lebar di bagian tengah daripada teknik SPWM.
- Pada frekuensi 50 Hz teknik SPWM menunjukkan nilai tegangan antar fasa sebesar 200 V sedangkan pada teknik SVPWM menunjukkan 222 V. Hal ini membuktikan bahwa tegangan *rms* antar fasa teknik SPWM bernilai 0.866 dari tegangan input DC sebesar 311 Vdc, penurunan ini dikompensasi dengan peningkatan 15.5% secara teori pada teknik SVPWM.
- Secara teori teknik SVPWM mampu meningkatkan tegangan output inverter sampai 15,5 % dari teknik SPWM, tetapi pada kenyataannya (hasil pengujian alat) hanya mampu 11 %. Hal tersebut karena adanya tegangan ripple pada input inverter sehingga output tegangan inverter menjadi tidak optimum.

- [1] Tran, Phuong Hue, "Matlab/Simulink Implementation and Analysis of Three Pulse-Width-Modulation (PWM) Techniques", May 2012.

- [2] Anonim, "AC Induction Motor Control Using the Constant V/f Principle and a Space-vector PWM Algorithm", ATMEL, December 2005.
- [3] Anonim, "STM32f4_marketing_pres", STMicro Electronic, 2010.
- [4] Anonim, "STM32F407 Reference Manual: STMicroElectronic". 2011.
- [5] Anonim, "DataSheet IRAM136-3063B", International Rectifier. 2011.
- [6] Anonim, "IRGPS60B120KDP", International Rectifier. 1997.

Simulasi Aplikasi MPPT (*Maximum Power Point Tracker*)-FLC (*Fuzzy Logic Control*) pada Sistem *Stand-alone Photovoltaic*

Harmini
Jurusan Teknik Elektro USM
USM
Semarang, Indonesia
email: harmini@usm.ac.id

Titik Nurhayati
Jurusan Teknik Elektro USM
USM
Semarang, Indonesia
email: titiknur@usm.ac.id

3

Abstrak – Permasalahan yang ditimbulkan pada penggunaan PV (*Photovoltaic*) adalah daya keluaran PV yang seringkali tidak mencapai maksimal dari daya yang sebenarnya dikeluarkan oleh PV terutama pada kondisi radasi matahari yang rendah. Agar PV dapat mengeluarkan daya yang mendekati daya maksimum point, maka PV harus dihubungkan dengan MPPT.

Pada penelitian ini akan disimulasikan sebuah sistem MPPT menggunakan *artificial intelligent* berupa *Fuzzy Logic Controller* (FLC) pada sistem *stand-alone* sistem *Photovoltaic*. Topologi *converter* yang digunakan adalah *Boost converter*. Analisa yang akan dilakukan adalah mengetahui daya rata-rata PV dan rasio daya PV antara sistem tanpa MPPT – FLC dan menggunakan MPPT-FLC.

Penggunaan MPPT dengan menggunakan *boost converter* dan metode *Fuzzy Logic Control* dapat meningkatkan daya keluaran PV bila dibandingkan dengan tanpa MPPT. Kenaikan daya cenderung stabil dengan perubahan beban. Kenaikan Rasio Daya rata-rata antara sistem tanpa MPPT dengan sistem MPPT-FLC sebesar 18.82%

Kata kunci : MPPT- *Fuzzy Logic Control*, *Boost Converter*, *Photovoltaic*

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan masalah yang mempunyai kecenderungan selalu meningkat dan berkembang seiring dengan kebutuhan manusia akan sumber energi yang semakin meningkat. Energi fosil masih menjadi pilihan utama yang digunakan pada beberapa unit pembangkit, sedangkan cadangan energi fosil semakin menipis sehingga menimbulkan terjadinya krisis energi[7]. Hal ini menjadikan manusia berusaha mengganti energi fosil dengan dengan sumber energi terbarukan atau energi *alternative*. Beberapa energi *alternative* antara lain energi angin, energi air berskala kecil (mikrohidro), *photovoltaic* (PV), *fuel cell* dan energi ombak. Perkembangan teknologi tentang sumber energi terbarukan yang dikombinasikan dengan berkembangnya perhatian masyarakat akan dampak-dampak lingkungan menimbulkan banyak temuan-temuan baru salah satunya adalah *Distributed Generation System* (DGS) yang terhubung dengan grid.

Permasalahan yang ditimbulkan pada penggunaan PV (*Photovoltaic*) adalah daya keluaran

PV yang seringkali tidak mencapai maksimal dari daya yang sebenarnya dikeluarkan oleh PV terutama pada kondisi radasi matahari yang rendah. Radiasi matahari yang diterima panel surya tergantung cuaca dan posisi matahari terhadap panel surya. Agar PV dapat mengeluarkan daya yang mendekati daya maksimum point, maka PV harus dihubungkan dengan MPPT.

Pada penelitian ini akan disimulasikan sebuah sistem MPPT menggunakan *artificial intelligent* berupa *Fuzzy Logic Controller* (FLC) pada sistem *stand-alone* sistem *Photovoltaic*. Tegangan yang dihasilkan oleh PV akan tersimpan kedalam baterai, kemudian akan dikonversikan kedalam bentuk tegangan AC agar dapat digunakan untuk beban AC. Topologi *converter* yang digunakan adalah *Boost converter*. Tujuan penggunaan *boost converter* untuk menaikkan tegangan kerja PV agar sesuai dengan kebutuhan beban yang digunakan. Penelitian ini fokus pada pengembangan sistem MPPT dengan *Artificial Intelligent* - berupa *Fuzzy Logic Controller* (FLC) pada sistem *stand alone* PV. Analisa yang akan dilakukan adalah mengetahui daya rata-rata PV dan rasio daya PV antara sistem tanpa MPPT – FLC dan menggunakan MPPT-FLC.

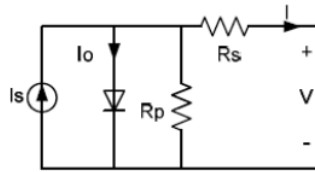
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik *Photovoltaic*

Photovoltaic digunakan untuk menghasilkan energi listrik pada berbagai macam penerapan, seperti penerangan rumah, lampu lalu lintas, mobil ramah lingkungan dan aplikasi yang lainnya. Sel PV dapat dimodelkan secara elektronik seperti ditunjukkan pada Gambar 1 [4][5][9]. Model elektronik tersebut terdiri dari sumber arus konstan (I_{sc}), diode, resistor seri (R_s) dan resistor paralel (R_p). Persamaan model matematik *photovoltaic* ditunjukkan pada Pers.1.

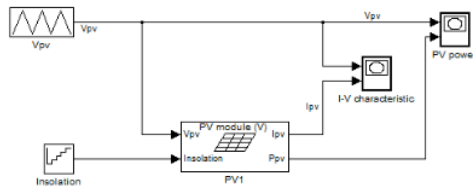
$$I = I_{sc} - I_o \left[e^{\left(\frac{V + IR_s}{V_T} \right)} - 1 \right] \quad (1)$$

dengan I adalah arus yang mengalir ke terminal, I_{sc} adalah sumber arus konstan, I_o adalah arus diode kondisi reverse saturasi, V_T adalah tegangan akibat panas, V adalah tegangan terminal dan R_s adalah resistor.



Gambar 1. Model elektronik sel photovoltaic [5][6][11].

Daya yang dibangkitkan oleh modul PV tergantung pada radiasi, suhuan kondisi penyinaran. Panel PV mempunyai karakteristik yang tidak linier dan mempunyai daya tertinggi yang berada pada titik tertentu dengan koordinat tegangan V_{mpp} dan arus I_{mpp} [3]-[6][10][11]. Tegangan dan arus dari keluaran modul PV harus diatur secara tepat untuk mendapatkan titik daya maksimum. Titik tersebut tidak selalu terdapat pada tegangan nominal sel PV dan dapat berpindah secara cepat akibat perubahan penyinaran dan suhu sel PV. Untuk mendapatkan daya yang optimal diperlukan sebuah alat yang digunakan untuk mencari titik daya tertinggi dan mengubah tegangannya ke tegangan yang diinginkan. Alat tersebut dinamakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) yang berfungsi untuk mengatur perubahan arus dan tegangan kerja sesuai dengan karakteristik sel PV.



Gambar 2. Model sel photovoltaic pada matlab.

2.2. MPPT Controller

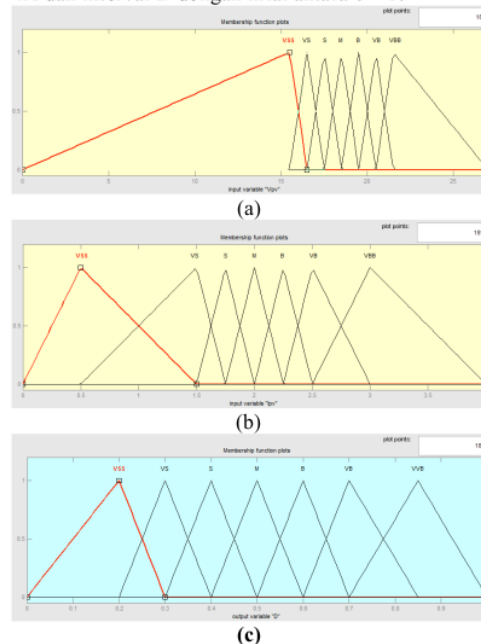
Sistem PV mempunyai karakteristik yang tidak linier serta sangat tergantung pada suhu dan intensitas radiasi matahari, sehingga pada sistem PV terdapat titik tertentu yang dapat menghasilkan keluaran daya maksimal. Titik tersebut adalah *Maximum Power Point* (MPP), letak titik tidak diketahui tetapi dapat dicari dengan menggunakan perhitungan atau algoritma tracking. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) digunakan untuk mendapatkan daya maksimum dari sistem PV tanpa tergantung pada suhu dan radiasi matahari serta menjaga agar titik kerja PV tetap pada titik MPP saat terjadi perubahan kondisi lingkungan dan didapatkan daya keluaran yang maksimal dari suatu panel surya. Daya keluaran yang maksimal ini akan menghasilkan rasio daya yang tinggi dan mengurangi rugi-rugi suatu sel surya. MPPT sangat penting untuk meningkatkan efisiensi. Kontrol tegangan MPPT menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) atau lebar pulsa (*Duty Cycle*) melalui rangkaian DC-DC Converter.

Fuzzy logic dalam penggunaan MPPT mempunyai keuntungan dalam menghadapi ketidakpastian dan ketidaktelitian. MPPT kontroler akan didasarkan

pada penerapan logika fuzzy yang terdiri dari dua bagian yaitu fuzzifikasi dan fuzzy rule [2].

Fuzzifikasi

Ada dua masukan dari fuzzy logic control yaitu Tegangan (V_{pv}) dan Arus (I_{pv}) dan keluaran berupa Duty Cycle (D). V_{pv} , I_{pv} dan D masing-masing mempunyai tujuh fungsi keanggotaan, yaitu VVS, VS, S, M, B, VB, VVB. Interval V_{pv} dengan nilai antara 0 – 27V, interval I_{pv} dengan nilai antara 0 – 4A dan interval D dengan nilai antara 0 – 1.

Gambar 3. Fungsi Keanggotaan (a) Input V_{pv} , (b) Input I_{pv} , (c) Output D

Fuzzy Rules

Pada penelitian ini, script “if-then” selalu digunakan untuk mengekspresikan fuzzy rules. Sistem MPPT ini menggunakan 49 rule base seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Rule Base MPPT - FLC

VVS	VVS	VS	S	M	B	VB	VVB
VVS	VVS	VVS	VVS	VS	VVS	VVS	VS
VS	VVS	VVS	VVS	VS	S	M	B
S	VVS	VVS	VS	S	M	B	VB
M	VVS	VS	S	M	B	VB	VVB
B	VS	VVB	VVB	B	VVB	VVB	VVB
VB	S	M	B	VB	VVB	VVB	VVB
VVB	M	B	VB	VVB	VVB	VVB	VVB

Rule base fuzzy adalah:

1. If V is VVS and I is VVS then D is VVS
2. If V is VS and I is VVS then D is VVS
3. If V is S and I is VVS then D is VVS
4. If V is M and I is VSS then D is VS

2.3. Konverter Boost

Boost converter digunakan untuk menaikkan tegangan DC. Gambar dari rangkaian boost converter menggunakan matlab ditunjukkan pada gambar 4 dan gambar 5. Persamaan yang digunakan untuk mencari besarnya tegangan keluaran

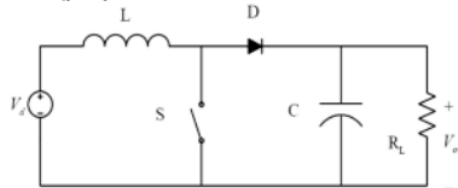
ditunjukkan pada Persamaan 2.

$$V_c = \frac{V_{Lc}}{1 - D} \quad (2)$$

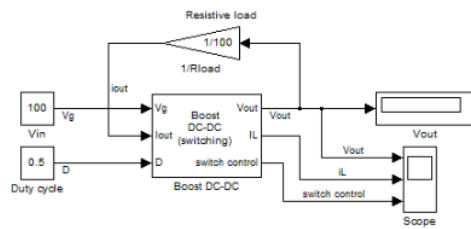
Boost converter dioperasikan pada mode CCM (Continuous Conduction Mode), parameter komponen L dan C diperoleh melalui persamaan 3 dan 4.

$$L_{min} = \frac{(1 - D)^2}{2f} \cdot DR \quad (3)$$

$$C = \frac{V_o \cdot D}{V_R \cdot R \cdot f} \quad (4)$$



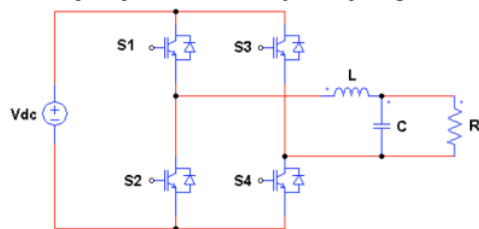
Gambar 4. Gambar Rangkaian Boost Converter



Gambar 5. Boost Converter dengan matlab

2.4. Inverter

Inverter digunakan untuk mentransformasikan tegangan DC menjadi tegangan AC. Inverter yang digunakan pada penelitian ini adalah fullwave inverter satu fasa dengan sistem close loop dengan referensi berupa tegangan yang dibandingkan dengan tegangan keluaran. Inverter diperlukan agar sistem stand alone PV dapat digunakan untuk beban AC. Pemodelan inverter pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 6.

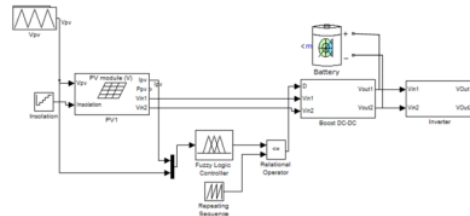


Gambar 6. Fullwave Inverter satu fasa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konfigurasi Sistem

Sistem PV MPPT-FLC Stand alone pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 7.



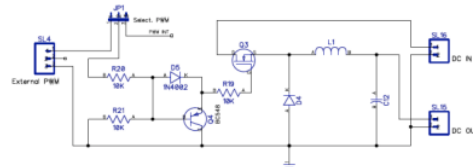
Gambar 7. System MPPT – FLC secara keseluruhan

3.2. Perancangan Boost Converter

Spesifikasi perancangan boost converter yang dibuat dalam sistem MPPT adalah:

Tegangan Masukan V_{in} : 17,4 volt
 Tegangan Keluaran V_{out} : 27,6 volt
 Tegangan ripple keluaran V_{rr} : 10mV
 Arus searah keluaran rata-rata I_o : 3A
 Frekuensi pensaklaran f_s : 50 kHz
 Arus keluaran minimum I_L : 0,1 x I_o

Tegangan keluaran yang diinginkan adalah 27,6 volt untuk mengisi baterai sebesar 24 volt (menghubungkan seri dua baterai 12V/5Ah). Tegangan terendah yang digunakan untuk mengisi baterai 24 volt adalah sebesar 27,6 volt. Nilai inductor dan kapasitor adalah 430 μ H dan 2200 μ F. Gambar 8 menunjukkan desain rangkaian boost converter



Gambar 8. Desain rangkaian boost converter [Skematik software Diptrace]

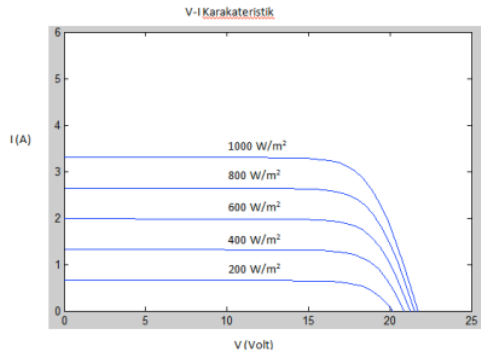
3.3. Pengujian Model PV dengan nilai radiasi yang bervariasi.

Spesifikasi PV yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 2.

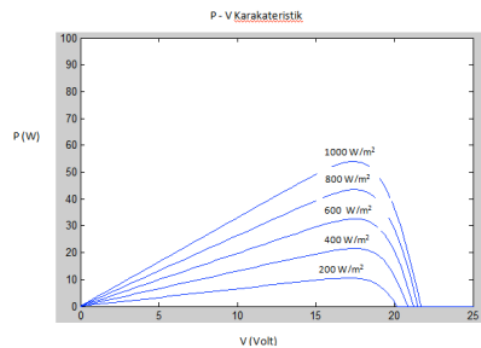
Tabel 2. Parameter PV Kyocera KC50T

Temperatur	25°C		
Daya maksimum	Pmpp	54	W
Arus pada daya maksimum	Impp	3.11	A
Arus hubung singkat	Isc	3.31	A
Tegangan hubung terbuka	Voc	21.7	V
Tegangan pada daya maksimum	Vmp	17.4	V

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari model PV. Karakteristik PV dilihat dari kurva antara V-I dan P-V seperti ditunjukkan pada gambar 9 dan 10 dengan melakukan variasi terhadap nilai iradiasi matahari mulai 200 W/m² sampai dengan 1000 W/m² dan nilai suhu sebesar 25°C. Hasil pengujian karakteristik V-I dan PV dari photovoltaic Kyocera KC50T ditunjukkan pada gambar 9 dan 10.



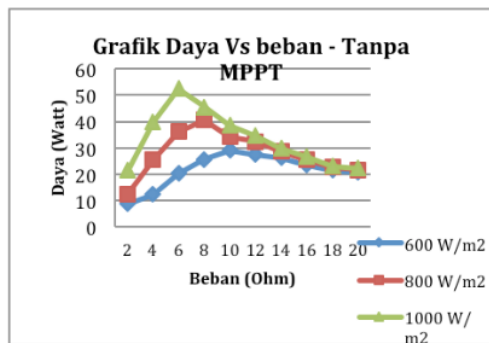
Gambar 9. Karakteristik V-I photovoltaic



Gambar 10. Karakteristik P-V photovoltaic

3.4. Pengujian model PV tanpa sistem MPPT-FLC dengan variasi nilai beban.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui besarnya daya yang dihasilkan oleh sistem PV tanpa menggunakan MPPT berdasarkan perubahan beban. Variasi nilai beban adalah 2 ohm sampai dengan 20 ohm, sedangkan nilai irradiansi yang digunakan 600 W/m², 800 W/m² dan 1000 W/m². Temperature yang diberikan ke sistem PV dijaga konstan pada suhu 25°C. Kapasitas PV yang digunakan pada pengujian adalah 54 Wp dengan tegangan maksimum 17.4 Volt dan arus maksimum 3.11 A. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 11.

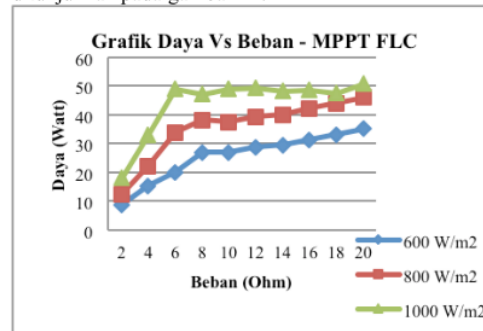


Gambar 11. Grafik daya dengan beban bervariasi 2 ohm sampai 20 ohm pada sistem PV tanpa MPPT

Daya yang dibangkitkan oleh sistem PV sangat tergantung dengan intensitas matahari, semakin besar intensitas matahari maka daya yang dibangkitkan akan semakin besar. Peningkatan beban menyebabkan penurunan daya sehingga sistem cenderung tidak stabil. Daya terbesar dihasilkan pada irradiansi 1000 W/m² dan beban 6 ohm yaitu sebesar 52.45 Watt.

3.5. Pengujian model PV menggunakan sistem MPPT-FLC dengan variasi nilai beban.

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan model PV sistem MPPT-FLC dengan hambatan atau beban yang nilainya berubah. Pengujian dilakukan untuk mengetahui besarnya daya yang dihasilkan oleh sistem PV dengan menggunakan MPPT-FLC berdasarkan perubahan beban. Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Grafik daya dengan beban bervariasi 2 ohm sampai 20 ohm pada sistem PV menggunakan MPPT-FLC

Berdasarkan gambar 12 terlihat bahwa daya yang dibangkitkan cenderung meningkat dan stabil meskipun terjadi perubahan beban. Sistem PV dengan menggunakan MPPT-FLC dapat memperbaiki sistem PV dalam hal meningkatkan daya yang dibangkitkan. Daya terbesar dihasilkan pada irradiansi 1000 W/m² dan beban 6 ohm yaitu sebesar 49.55 Watt. Pada kondisi yang sama daya yang dihasilkan sistem tanpa MPPT lebih besar dibandingkan dengan sistem dengan MPPT-FLC, tetapi secara keseluruhan pengujian dengan beban 2 ohm sampai 20 ohm menunjukkan bahwa sistem cenderung stabil dan daya meningkat secara signifikan.

Kinerja sistem PV diuji pada dua kondisi yaitu sistem PV yang dihubungkan dengan MPPT-FLC dan tanpa MPPT. Data yang dianalisa adalah daya rata-rata tanpa MPPT dan dengan MPPT-FLC pada beban yang bervariasi dan rasio daya PV. Pengujian dan analisa dilakukan pada tiga keadaan intensitas sinar matahari yaitu 600 W/m², 800 W/m² dan 1000 W/m² dengan beban bervariasi mulai 2 ohm sampai dengan 20 ohm. Tabel 3 menunjukkan rata-rata daya tanpa MPPT dan menggunakan MPPT-FLC dengan beban bervariasi. Tabel 4 menunjukkan rasio daya rata-rata tanpa MPPT dan menggunakan MPPT-FLC dengan beban bervariasi.

Tabel 3. Daya rata-rata tanpa MPPT dan menggunakan MPPT-FLC dengan beban bervariasi.

Irr(W/m ²)	Pmax(W)- nameplate	Ppv tanpa MPPT(W)	Ppv Mppt- FLC(W)
600	28	21.547	25.668
800	38	27.998	35.725
1000	54	33.377	44.396

Berdasarkan tabel 3 maka daya rata-rata PV adalah:
 Daya rata-rata tanpa MPPT : 27.641 Watt
 Daya rata-rata MPPT-FLC : 35.263 Watt
 Kenaikan daya rata-rata sebesar 7.622 Watt.

Tabel 4. Rasio Daya rata-rata tanpa MPPT dan menggunakan MPPT-FLC dengan beban bervariasi.

Irr(W/m ²)	Rasio Daya Rata-rata tanpa MPPT (%)	Rasio Daya Rata-rata MPPT- FLC(%)	Kenaikan (%)
600	76.95	91.67	14.72
800	73.68	94.01	20.33
1000	61.81	82.21	20.41

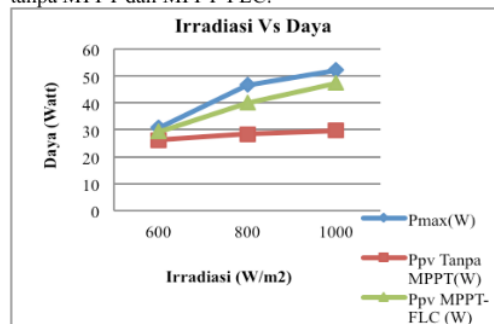
Berdasarkan tabel 4 maka rasio daya rata-rata PV adalah:

Rasio Daya rata-rata tanpa MPPT : 70.81 %

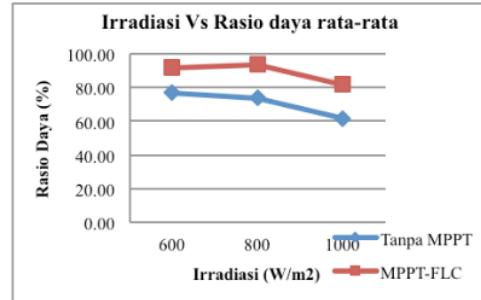
Rasio Daya rata-rata MPPT-FLC : 89.29 %

Dari hasil simulasi model PV yang dihubungkan dengan beban bervariasi, MPPT-FLC dapat meningkatkan rasio daya rata-rata. Hal ini berarti sistem MPPT-FLC dapat digunakan untuk memperbaiki efisiensi dari pembangkit listrik tenaga surya. Kenaikan rasio daya rata-rata antara sistem PV tanpa MPPT dengan sistem PV yang menggunakan MPPT-FLC adalah 18.82%.

Gambar 13 dan gambar 14 menunjukkan perbandingan antara daya rata-rata dan rasio daya rata-rata dengan irradiansi matahari untuk sistem PV tanpa MPPT dan MPPT-FLC.



Gambar 13. Grafik perbandingan Irradiansi dengan daya rata-rata



Gambar 14. Grafik perbandingan Irradiansi dengan rasio daya rata-rata

3.6. Pengujian model PV menggunakan sistem MPPT-FLC dengan Baterai dan inverter.

Pengujian ini dilakukan dengan menggabungkan semua sistem PV MPPT-FLC dengan beban baterai dan inverter. Kapasitas baterai yang digunakan adalah 12 Volt 5 Ah, baterai tersebut diisi sejumlah 2 buah sehingga didapatkan tegangan 24 Volt sesuai dengan perancangan *boost converter*. Sel surya digunakan sebagai catu daya untuk mengisi baterai pada sistem stand alone. Sedangkan, pengujian dengan beban inverter bertujuan agar supaya dapat digunakan untuk beban AC yaitu lampu AC 30 Watt. Berdasarkan pengukuran daya yang dihasilkan PV pada irradiansi 1000 W/m² didapatkan daya rata-rata sekitar 44.396 Watt, maka sistem ini bisa digunakan untuk menyalakan lampu AC 30 Watt.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. KESIMPULAN

Dari data-data yang diperoleh dari pengujian alat, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan MPPT dengan menggunakan *boost converter* dan metode *Fuzzy Logic Control* dapat meningkatkan daya keluaran PV bila dibandingkan dengan tanpa MPPT. Kenaikan daya cenderung stabil dengan perubahan beban.
2. Daya beban rata-rata tanpa MPPT sebesar 27.641 Watt dan dengan MPPT-FLC sebesar 35.263 Watt, sehingga besarnya kenaikan daya sebesar 7.622 Watt.
3. Kenaikan Rasio Daya rata-rata antara sistem tanpa MPPT dengan sistem MPPT-FLC sebesar 18.82%.

4.2. SARAN

1. Mengembangkan model MPPT yang terhubung dengan saluran distribusi (on grid sistem)
2. Kontrol MPPT menggunakan sistem *Buck-Boost converter* yaitu menurunkan dan menaikkan tegangan kerja PV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akhiro Oi, 2002, "Design and simulation of photovoltaic water pumping system," presented to the Faculty of California Polytechnic State University.
- [2] Chang, Yuen-Haw, and Chang, Chia-Yu, "Maximum Power Point Tracker of PV System by Scalling Fuzzy Control", Proseding IMECS, 31gkong, March, 2010.
- [3] D.C Riawan, C.V Nayar, 2008, "Design and Implementation of P-I based MPPT scheme for PV modules Operated on Wide Temperatur Range," Department of Electrical & Computer Engineering, Curtin University of Technology Australia
- [4] D.Sera, T Kerekes, 2006, "Improved MPPT method for rapidly changing environment conditions," journal Aalborg university/Institute of Energy Technology, Aalborg, denmark
- [5] Dariusz Czarkowski, 2001, "DC-DC Converter in Power Electronic Handbook" Editing by Rashid, Muhammad H, University of Florida, chapter 13.
- [6] Faranda, Roberto. Leva, Sonia. 2008. "Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems". Italia.
- [7] Hajizadeh, Amin and Golkar, Masoud Aliakbar, "Control of Hybrid Fuel Cell/Energy Storage Distributed Generation System Against Voltage Sag", Electrical Power and Energy System, pp.488-497, iran, Septetember 2009.
- [8] Joe-Air Jiang, Tsong-Liang, Ying Tung Hsiao and Chia-Hong Chen, 2005, "Maximum Power Tracking for Photovoltaic Power System," Journal of Science and Engineering, vol.8, No 2, pp.147-153(2005)
- [9] J.Hamilton Scott "Sun-Tracking Solar Cell Array" , 2000, Department of computer science and Electrical Engineering, University of Queensl.
- [10] J.Kouto, A.El-Ali, N.Moubayed and R.Outbib, 2009, "Improving the incremental conductance control method of a solar energy conversion system," Departement of Electrical Engineering Faculty of Engineering-Lebanese University
- [11] Mohan, Ned. Undeland, Tore M. Robbins, William P. 1995. "Power Electronics Converters, Applications, And Design". New York. John Wiley & Sons, Inc
- [12] N78n Kin (Eddie) Lee and Chem Nayar, 2007, "Implementation of Photovoltaic Maximum Power Point Tracking using a Microcontroller" Curtin University of Technology.
- [13] Rosaidi Bin Roslan, 2009, "A maximum Power Point Tracking Converter For Photovoltaic Application"
- [14] Elsevier's Science & Technology Right Department in Oxfort "Solar Energy Engineering Process and System", 2009
- [15] Zeller, J.; Zhu, M.; Stimac, T.; Gao, Z.: Nonlinear Digital Control Implementation of a DC-to-DC Power Converter. Proc. of 36th

Intersociety Energy Conversion Engineering Conference IECEC'01, July 29 – August 2, Savannah, Georgia, 2001.

Electronics

Desain Sistem Presensi Elektronik RFID Terintegrasi dengan Sistem Informasi Akademik UB

Raden Arief Setyawan
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
rarief@ub.ac.id

Akhmad Zainuri
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
zen354@gmail.com

Eka Maulana
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
ekamaulana@ub.ac.id

Nanang Sulistyanto
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
nanangst@ub.ac.id

Abstract—Saat ini pencatatan absensi mahasiswa pada sistem informasi akademik masih dilakukan secara manual. Setelah perkuliahan diakhiri, operator akademik harus melakukan proses input data. Hal ini seringkali menyebabkan kesalahan pencatatan akibat *human error*, mengingat data yang harus dimasukkan ke dalam siakad sangat banyak tiap harinya. Universitas Brawijaya telah bekerjasama dengan Bank BRI sebagai penyedia kartu mahasiswa. Kartu ini memiliki fasilitas RFID. Penelitian ini membahas tentang pembuatan sistem absensi menggunakan pembaca RFID. Selain desain perangkat pembaca serta sistem komunikasinya dengan server siakad, penelitian ini juga menganalisa kemungkinan skalabilitas sistem. Mengingat waktu kuliah yang dapat dilakukan secara bersama-sama di seluruh UB. Dengan sejumlah kelas yang dimulai bersama, dimungkinkan adanya ribuan mahasiswa yang melakukan *tapping* pada sistem secara bersamaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan sejak awal mahasiswa menempelkan kartu pada reader hingga memperoleh kesimpulan adalah 3 – 23 detik.

Keywords—RFID Reader; Komunikasi Data; Scalability architecture

I. PENDAHULUAN

Sistem Informasi Akademik telah meningkatkan efisiensi manajemen proses akademik di Universitas Brawijaya. Berbagai proses akademik mulai dari pengambilan KRS, pemrosesan nilai, serta pembuatan KHS telah dilakukan oleh sistem. Namun proses KRS dan KHS pada umumnya hanya terjadi satu kali tiap semester. Data yang harus di input setiap hari adalah data absensi mahasiswa. Hal ini mengingat adanya aturan jumlah kehadiran minimum agar seorang mahasiswa dapat mengikuti Ujian Akhir Semester. Saat ini data absensi masih harus di input secara manual. Operator akademik menerima data dari dosen beserta tanda-tangan kehadiran mahasiswa dalam suatu kuliah, dan melakukan input data absensi. Hal ini menyebabkan seringnya terjadi kesalahan (*human error*) pada proses input. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem yang lebih efisien dalam melakukan proses pencatatan data kehadiran mahasiswa secara *realtime*.

Kerjasama UB dengan BRI tentang pembuatan Kartu Mahasiswa dengan teknologi *e-money* memungkinkan pengembangan pada berbagai hal. Salah satu peluang adalah dengan memanfaatkan teknologi RFID yang ada pada Kartu Mahasiswa sebagai informasi kehadiran, sehingga mahasiswa dapat melakukan absensi dengan melakukan *tapping* pada perangkat pembaca kartu yang akan dibuat. Selain itu

diperlukan pula desain komunikasi data antara perangkat pembaca kartu dengan server data SIAKAD. Mengingat perangkat pembaca kartu tersebar di seluruh kelas, dan akan berkomunikasi secara intensif dengan server data SIAKAD. Komunikasi ini harus dapat diandalkan dengan waktu tunggu yang rendah (*realtime*). Hal lain yang harus menjadi perhatian adalah jumlah kelas di seluruh UB yang mulai secara serentak. Pada saat yang sama, akan ada ribuan mahasiswa yang melakukan absensi elektronik pada perangkat pembaca RFID. Pada penelitian ini dirancang perangkat pembaca Kartu Tanda Mahasiswa RFID dengan mekanisme komunikasi yang handal dan mampu menangani banyak data yang masuk secara bersamaan. Penelitian ini dititikberatkan pada pengembangan model komunikasi antara RFID reader dengan Server SIAKAD untuk dapat menangani skalabilitas data. Penggunaan mekanisme absensi secara elektronik akan sangat meningkatkan efisiensi dan mengurangi kesalahan akibat *human error*. Selain itu dengan adanya arsitektur sistem yang dapat menangani ribuan akses secara bersamaan dapat digunakan sebagai referensi sistem lain yang memerlukan komunikasi data secara masif. Tujuan penelitian ini adalah dengan membuat perangkat presensi menggunakan kartu RFID yang terintegrasi dengan Sistem Informasi Akademik Universitas Brawijaya.

Sistem presensi elektronik ini terdiri dari modul pembaca RFID yang akan diletakkan di dalam kelas dan terhubung melalui jaringan komputer ke Server Database SIAKAD. Dengan demikian seluruh perangkat dapat berkomunikasi dengan server untuk mengelola presensi dosen dan mahasiswa. Proses pencatatan kehadiran dosen dan mahasiswa masih dilakukan secara manual oleh operator presensi. Setiap satu perkuliahan selesai, operator akan melakukan input data status kehadiran mahasiswa/ dosen ke sistem. Namun sistem ini sangat bergantung pada ketelitian operator. Jika operator pelaksana tidak segera melakukan proses input ke sistem maka akan menyebabkan penumpukan data, sehingga kemungkinan kesalahan input semakin besar. Implementasi sistem presensi elektronik akan mengurangi beban operator serta mengurangi kesalahan input data. Mengingat data presensi dosen/mahasiswa akan tercatat secara *realtime*. Saat mahasiswa atau dosen melakukan *tapping* kartu identitas pada perangkat pembaca, maka saat itu juga sistem akan mencatat kehadirannya. Hak untuk memasuki kelas ditentukan oleh sistem, sehingga mahasiswa tidak dapat

melakukan presensi diluar kelas yang telah dijadwalkan. Implementasi ini diharapkan akan memberikan solusi terhadap peningkatan efisiensi pelaksanaan administrasi perkuliahan yang ditimbulkan dengan banyaknya mahasiswa.

II. TEKNOLOGI RFID DAN JARINGAN

A. RFID

RFID (*Radio Frequency Identification*) adalah suatu metode identifikasi dengan menggunakan frekuensi radio. Sistem ini menggunakan transponder yang berfungsi untuk mengirimkan data identitas kepada perangkat pembaca data RFID. Perangkat yang menyimpan data RFID sering disebut sebagai RFID TAG. TAG RFID dapat berupa kartu, stiker, maupun label yang dapat di tempel pada bidang lain. [1-3]

Terdapat dua jenis RFID TAG, yakni *active* RFID dan *passive* RFID. *Active* RFID memerlukan tenaga listrik untuk membangkitkan pancaran sinyal pada TAG. *Passive* RFID menggunakan sinyal dari perangkat pembaca untuk membangkitkan data yang akan dikirimkan pada pembaca RFID. *Active* TAG pada umumnya digunakan untuk pembacaan jarak jauh. Namun harganya jauh lebih mahal dibandingkan *passive* TAG. *Passive* TAG hanya mengirimkan data saat label/kartu RFID mendekati perangkat pembaca. Saat itu sinyal dari pembaca diubah menjadi energi listrik yang mampu untuk membangkitkan frekuensi radio dan membawa data [4]. Pada umumnya *passive* RFID digunakan untuk jarak yang dekat. Saat ini format frekuensi dan data RFID sangat beragam. Frekuensi yang digunakan dalam system RFID ditunjukkan dalam Tabel I.

TABLE I. JANGKAUAN FREKUENSI RFID

Klasifikasi	Jangkauan frekuensi
53 Low Frequency	LF: 125–134.2 kHz dan 140–148.5 kHz (Low FID) tags
High Frequency	HF: 13.56 MHz (HighFID) tags
53a High Frequency	frequency (UHF: 868–928 MHz) (Ultra High FID or UHFID)

Low Frequency dan High Frequency dapat digunakan secara bebas tanpa lisensi karena sudah distandarkan oleh ISO dan diakui oleh hampir seluruh negara termasuk Indonesia. Namun untuk frekuensi UHF, diperlukan lisensi khusus untuk penggunaannya. Mengingat belum adanya standar untuk RFID yang beroperasi pada frekuensi UHF.

Saat ini hampir seluruh perangkat RFID di Indonesia, terutama yang digunakan oleh perbankan menggunakan standar ISO/IEC 14443 standar ini diimplementasikan ke berbagai macam format data seperti MIFARE, EMV Card dan lain sebagainya. Hasil pengujian sebelumnya telah diperoleh data bahwa KTM Mahasiswa UB akan menggunakan format ini sehingga diperlukan perangkat pembaca yang mendukung sistem ISO/IEC 14443.

Beberapa keunggulan dan fasilitas kartu dengan standar MIFARE adalah sebagai berikut:

- Transmisi data dan energi tanpa kontak (tanpa memerlukan catu daya)
- Jarak operasi hingga 100mm

- Beroperasi pada Frekuensi: 13.56 MHz
- Kecepatan transfer data: 106 kbit/s
- Integritas data tinggi dengan 16 Bit CRC, parity, bitcoding, bit counting
- *True anti collision*
- Standar transaksi tiket: < 100 ms

Kartu Mifare memiliki Memory EEPROM dengan spesifikasi :

- 1 Kbyte, dibagi menjadi 16 sector dengan 4 blok. Tiap blok dapat menyimpan 16 byte.
- User dapat mendefinisikan kondisi akses untuk tiap blok memory.
- Data dapat tersimpan selama 10 tahun.
- Ketahanan penulisan hingga 100.000 siklus

B. Network

1) Layer OSI

Layer OSI pada awalnya dikemukakan oleh Hubert Zimmermann [5] pada tahun 1980 dan dalam perkembangannya di tetapkan oleh ITU-T sebagai standar yang di acu oleh seluruh desainer komunikasi elektronik. Hal ini dalam rangka mempermudah interaksi antar perangkat network. OSI Berdasarkan standar RFC 1122 tentang lapisan-lapisan interaksi jaringan. Lapisan OSI terdiri dari 7 lapis seperti ditunjukkan dalam Fig. 1. Lapisan Atas (*Upper Layer*) merupakan layer aplikasi, yang menekankan pada pengolahan data. Sedangkan lapisan bawah (*Lower Layer*), berisi lapisan-lapisan yang bekerja sama guna menghantarkan data dari pengirim sampai tujuan. Dalam implementasinya, komunikasi data dan suara melibatkan seluruh lapisan tersebut. Penelitian ini di fokuskan pada lapisan bawah yang bertanggung dalam menghantarkan data dari pengirim sampai ke tujuan tanpa kesalahan sedikitpun.

2) Transmission Control Protocol (TCP)

TCP/IP merupakan protokol data yang digunakan dalam jaringan internet. Dalam TCP/IP terdapat beberapa lapisan (*layer*) yang masing-masing menangani protokol-protokol yang berbeda-beda. Dalam TCP/IP ada empat lapisan, yang ditunjukkan dalam Fig. 2.

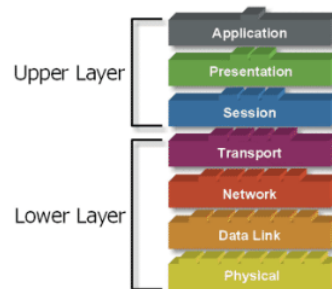


Fig. 1. Lapisan OSI.

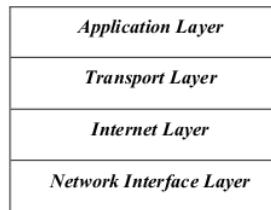


Fig. 2. Lapisan TCP/IP.

TCP menyediakan komunikasi yang berorientasi pada koneksi (*connection-oriented*) dan dapat diandalkan (*reliable*). Transfer menggunakan TCP lebih lambat daripada UDP dan biasanya digunakan untuk transfer data dalam jumlah besar. Berorientasi pada koneksi (*connection oriented*) mengandung arti bahwa sebuah koneksi dibentuk saat komunikasi dimulai. Sepanjang koneksi tersebut, sejumlah informasi dipertukarkan. Dapat diandalkan (*reliable*) mengandung arti bahwa sebuah “tanda terima” (*acknowledgement*) akan dikirimkan kembali ke pengirim sebagai verifikasi bahwa paket-paket yang bersangkutan telah diterima. Setiap kali sebuah segmen data diterima di tempat tujuan, sebuah *acknowledgement* dikirimkan kepada pengirim dalam periode waktu tertentu. Jika *acknowledgement* tidak terkirim dalam periode waktu tersebut, maka pengirim akan mengirimkan ulang data tersebut. Jika penerima mendapatkan data tersebut dalam kondisi rusak, paket yang rusak tersebut akan langsung dibuang. Penerima tidak akan mengirimkan *acknowledgement* untuk paket yang rusak, dan karena pengirim tidak menerima *acknowledgement*, maka data tersebut akan dikirimkan ulang.

3) User Datagram Protocol (UDP)

UDP menyediakan komunikasi yang tidak berorientasi pada koneksi (*connectionless*) dan tidak dapat diandalkan (*unreliable*). UDP lebih cepat daripada TCP dan biasanya digunakan untuk transfer data dalam jumlah kecil. Tidak berorientasi pada koneksi (*connectionless*) mengandung arti bahwa tidak ada koneksi yang dibentuk sebelum transfer data dimulai. Pengirim langsung saja mengirimkan data. UDP juga bersifat tidak dapat diandalkan (*unreliable*) karena tidak akan ada *acknowledgement* yang menyatakan bahwa data telah diterima di tempat tujuan. Paket UDP mempunyai header yang kecil pada Transport Layer, dan oleh karena tidak ada koneksi yang harus dibentuk serta tidak ada *acknowledgement* yang harus ditunggu, maka data dapat ditransfer lebih cepat.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan berdasarkan tahapan yang ditunjukkan dalam Fig. 3. Warna abu-abu menunjukkan bagian dalam penelitian sistem RFID yang terintegrasi dengan SIAKAD UB. Penelitian ini menggunakan RFID sebagai identifikasi user. Selanjutnya dibuat perangkat reader RFID sesuai dengan standar. Tahapan berikutnya adalah menganalisa komunikasi data antara sistem reader RFID dengan Server data absensi SIAKAD serta analisis beban dan desain arsitektur yang handal untuk

menangani skalabilitas data. Desain sistem presensi elektronik berbasis RFID dan jaringan ditunjukkan dalam Fig. 4 dan 5.

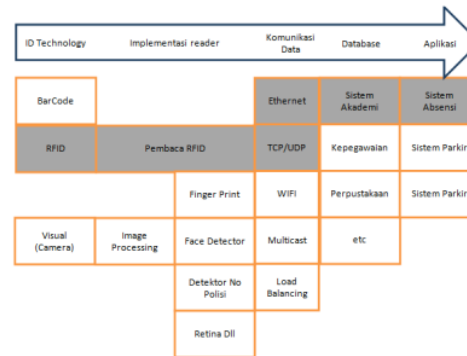


Fig. 3. Tahap implementasi sistem berbasis RFID

Urutan metode yang digunakan dalam penelitian ini dilaksanakan dalam enam langkah, yaitu:

- Desain Pembaca perangkat RFID.

Pada tahapan ini didesain rangkaian minimum sistem untuk membaca kartu dengan standar ISO dan MIFARE. Minimum sistem yang digunakan menggunakan processor ATMEGA dengan *operating system arduino*.

- Desain Komunikasi data dengan Server.

Langkah berikutnya adalah dengan mendesain komunikasi data, dan melakukan analisis penggunaan protokol TCP/IP atau UDP. Selain itu juga di desain protokol komunikasi dari sisi aplikasi.

- Tahapan berikutnya adalah menghitung data jumlah mahasiswa rata-rata tiap jam kuliah. Referensi data ini diperlukan untuk mendapatkan jumlah mahasiswa yang akan melakukan absensi elektronik pada perangkat. Hal ini sangat penting untuk diperhatikan mengingat ribuan mahasiswa akan melakukan absensi secara bersamaan. komunikasi data menuju server akan meningkat tajam dan dikhawatirkan menimbulkan *bottleneck*. Selanjutnya dengan memahami karakteristik akses serta beban komunikasi data saat puncak akses, didesain arsitektur sistem absensi RFID.
- Desain akan diuji menggunakan simulasi data network, sistem stress test pada perangkat server database, server aplikasi, serta perangkat pembaca untuk mengetahui kecepatan respon perangkat.
- Setelah seluruh data diperoleh dilakukan implementasi dan pengujian dengan menghitung delay maksimum yang diperoleh. Diharapkan pada tahapan ini arsitektur yang handal dapat dihasilkan.
- Analisis dan Kesimpulan. Hasil analisa dan pengujian akan disimpulkan sebagai referensi

pengembangan lebih lanjut pemanfaatan RFID.

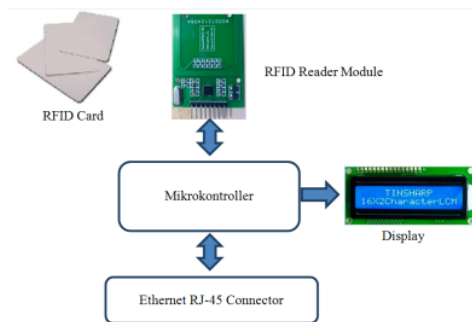


Fig. 4. Blok diagram sistem pembaca RFID

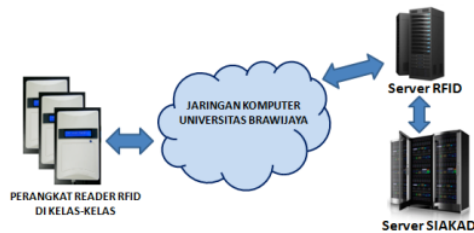


Fig. 5. Jaringan sistem integrasi RFID

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, sistem telah berhasil melakukan pembacaan kartu RFID dengan hasil sebagai berikut:

- 1) Saat rangkaian dinyalakan dan proses inisialisasi sistem berjalan dengan baik, maka pada layar LCD modul pembaca kartu akan menampilkan informasi "Tap your card" ditunjukkan dalam Gambar 6a. dan 6b.
- 2) Untuk melakukan presensi, mahasiswa cukup menempelkan kartu KTM RFID pada modul pembaca kartu RFID. Data yang telah dibaca akan dikirimkan oleh modul pembaca RFID ke server melalui jaringan komputer, dan menunggu informasi dari server SIAKAD.
- 3) Jika mahasiswa tersebut tidak terdaftar pada kelas tersebut, maka akan ditampilkan pesan "Tidak Terdaftar" ditunjukkan dalam Gambar 7a.
- 4) Jika mahasiswa tersebut terdaftar pada kelas tempat dia menempelkan kartu, maka sistem presensi akan menampilkan informasi "Berhasil" ditunjukkan dalam Gambar 7b.
- 5) Pada sistem informasi akademik (SIKAD) akan ditampilkan hasil presensi ditunjukkan dalam Gambar 10. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa sistem telah dapat bekerja sesuai dengan mekanisme yang diharapkan. Selanjutnya dilakukan pengujian waktu proses sejak pembacaan kartu hingga data hasil proses server siakad diterima dan ditampilkan oleh modul pembaca kartu RFID.



Fig. 6. Desain dan operasi perangkat RFID (a) pesan awal (b) proses inisialisasi pengenalan tag RFID



Fig. 7. Proses pengenalan identifikasi (a) kartu tag tidak terdaftar (b) pengenalan tag RFID berhasil

```

26-09-2013 14:07:23 Connected at : 172.18.3.25:99
26-09-2013 14:07:25 Received : *FT0003*27AF3AB8A#
26-09-2013 14:07:26 Send : *FT0003*01*RIZAL SETYA
PERDANA - de#
26-09-2013 14:07:26 Disconnected from :
172.18.3.22:99
26-09-2013 14:07:43 Connected at : 172.18.3.25:99
26-09-2013 14:07:45 Received : *FT0002*42FAA210A#
26-09-2013 14:07:46 Send : *FT0002*01*AINUN NAJIB EKA
C#
26-09-2013 14:07:46 Disconnected from :
172.18.3.25:99

```

Fig. 8. Proses transfer data 1

```

26-09-2013 16:12:23 Connected at : 172.18.3.25:99
26-09-2013 16:12:45 Received : *FT0003*27AF3AB8A#
26-09-2013 16:12:46 Send : *FT0003*01*RIZAL SETYA PERDANA -
devel#
26-09-2013 16:12:46 Disconnected from : 172.18.3.22:99
26-09-2013 16:12:53 Connected at : 172.18.3.25:99
26-09-2013 16:13:00 Received : *FT0002*42FAA210A#
26-09-2013 16:13:01 Send : *FT0002*01*AINUN NAJIB EKA C#
26-09-2013 16:13:01 Disconnected from : 172.18.3.25:99

```

Fig. 9. Proses transfer data 2

Gambar 8 dan 9 menunjukkan proses transfer data pada saat koneksi antara modul dan server menggunakan jaringan pengujian yang terisolasi dari gangguan lalu lintas data. Berdasarkan data transaksi diperoleh data bahwa waktu yang diperlukan untuk melakukan satu proses adalah sebesar : 3 detik (14:07:43-14:07:46) dan (14:07:23 - 14:07:26).

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada jaringan internal UB, diperoleh *prototype* pendekatan akses pada sistem yang sesungguhnya jika sistem ini di implementasikan di jaringan UB. Berdasarkan pengujian tersebut, bahwa proses komunikasi pada jaringan internal cukup fluktuatif dengan waktu

tercepat adalah 3 detik dan waktu terlama adalah 23 detik (16:12:23 - 16:12:46).

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Dalam kondisi jaringan yang tidak dapat diprediksi, protokol TCP/IP lebih dapat diandalkan dibandingkan UDP. Untuk itu implementasi selanjutnya akan digunakan protokol TCP/IP.
- Waktu yang diperlukan dalam proses sejak tapping kartu hingga hasil pengolahan server diterima oleh modul pada jaringan di lingkungan pengujian adalah sebesar 3 detik.
- Pada pengujian di jaringan internal UB proses pembacaan hingga kesimpulan memerlukan waktu hingga 23 detik.
- Kelambatan proses yang terjadi disebabkan karena kondisi jaringan komputer yang fluktuatif. Mengingat aliran data yang melalui jaringan tidak hanya data presensi. Desain sistem dengan multi server yang tersebar pada masing-masing fakultas dapat dijadikan solusi untuk mengatasi *delay* yang terlalu lama. Pengiriman data secara terjadwal dan terprogram diharapkan akan meminimalisir keterlambatan proses yang terjadi.

ABSENSI MAHASISWA

Kode MK:

Nama MK:

Lingkup akademis:

Jenjang: Jurusan:

Fakultas: Program studi:

Batasan kelas:

Kelas: Thn. akademik:

Seleksi: Semester:

Daftar mahasiswa peserta kelas:

No Induk	Nama	Jml Tatap Muka	Total Hadir	Total Ij
123141507111053	MARINDA DEVI RAHMAWAT	2	2	0
123141507111077	ROSA KARINA ANUGRAHEN	2	2	0
123141514111010	MUHAMMAD IFING ZUNAI	2	1	0

Entry Absensi Total Kehadiran

Keluar Edit Simpan ke EXCEL Cetak Rekap

Fig. 10 Tampilan hasil sistem presensi pada SIAKAD berbasis data RFID

ACKNOWLEDGMENT

Ucapan terima kasih disampaikan kepada BPP Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Jurusan Teknik Elektro, dan UPPTI Universitas Brawijaya selaku pendukung riset ini dari tahun 2013 hingga 2014.

REFERENCES

- [1] Daniel M. Dobkin, The RF in RFID: Passive UHF RFID In Practice, Newnes 2008 ISBN 978-0-7506-8209-1, chapter 8.
- [2] Landt, Jerry (2001). "Shrouds of Time: The history of RFID" (PDF). AIM, Inc. Retrieved 2006-05-31.
- [3] NXP Semiconductor (2011). "MIFARE Classic 1K Datasheet". http://www.nxp.com/documents/data_sheet/MF1S503x.pdf.
- [4] Finkenzeller, Klaus (penerjemah) Rachel Waddington. 2003. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, Edisi Kedua. John Wiley & Sons, Ltd.J.
- [5] Supriyanto, W. 2008. Teknologi Informasi Perpustakaan: Strategi Perancangan Perpustakaan Digital. Jakarta: Kanisius.

Implementasi Headlight LED pada Sepeda Motor Honda

Edwin Sholeh R.

Product Quality Engineering Division
PT. Astra Honda Motor
Jakarta Indonesia

edwin.s.rahmanullah@astra-honda.com

Yoga Gapaiasa

Product Quality Engineering Division
PT. Astra Honda Motor
Jakarta Indonesia

yoga.gapaiasa@astra-honda.com

Abstrak—LED atau *Light Emitting Diode* merupakan salah satu produk elektronika yang saat ini sedang berkembang pesat. Perkembangan teknologi ini juga diikuti dengan perkembangan teknologi LED yang digunakan pada alat-alat elektronik, rumah tangga, dan bahkan kendaraan bermotor. LED banyak digunakan karena konsumsi daya yang dibutuhkan tidak terlalu besar dan beragam warna yang ada dapat memperjelas bentuk yang akan ditampilkan. Oleh karena itu, Honda membuat inovasi dimana headlight / lampu utama yang dahulunya menggunakan bulb sekarang sudah menggunakan LED. Pada dasarnya LED itu merupakan komponen elektronika yang terbuat dari bahan semi konduktor jenis dioda yang mampu memancarkan cahaya. Headlight merupakan komponen penting pada sepeda motor karena sebagai sumber cahaya ketika malam hari dan siang hari. LED dapat diimplementasikan pada sepeda motor dengan intensitas cahaya yang lebih besar dari bulb. Data intensitas cahaya LED ini cukup tinggi dan sesuai dengan regulasi pemerintah dimana intensitasnya 18.000 Cd. Headlight menggunakan LED lebih terang 38% dibandingkan Headlight menggunakan bulb. Kelebihan LED memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan lampu lain, dimana LED lebih hemat energi 80 % dibandingkan lampu lain. LED memiliki waktu penggunaan yang lebih lama hingga mencapai 10 kali lipat dibandingkan dengan bulb. Cahaya keluaran dari LED bersifat dingin atau cool (tidak ada sinar UV atau energi panas, dengan panas yang dihasilkan 32% lebih dingin. Ukurannya yang mini dan praktis, lebih memudahkan dalam membuat desain headlight yang lebih fleksibel dan atraktif.

Keywords—LED, headlight LED, keunggulan headlight LED.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

LED atau *Light Emitting Diode* merupakan salah satu produk elektronika yang saat ini sedang berkembang pesat. Perkembangan teknologi ini juga diikuti dengan perkembangan teknologi LED yang digunakan pada alat-alat elektronik, rumah tangga, dan bahkan kendaraan bermotor. LED banyak digunakan karena konsumsi daya yang dibutuhkan tidak terlalu besar dan beragam warna yang ada dapat memperjelas bentuk atau huruf yang akan ditampilkan. Oleh karena itu, Honda membuat inovasi dimana headlight/lampu utama sepeda motor yang dahulunya menggunakan bulb sekarang sudah menggunakan LED.

1.2. Rumusan Masalah

Makalah ini akan membahas mengenai :

- 1) Bagaimana performance dan durability Headlight menggunakan Bulb.
- 2) Bagaimana performance dan durability Headlight menggunakan LED.
- 3) Bagaimana keunggulan Headlight LED dibandingkan dengan Headlight menggunakan bulb

1.3. Batasan Masalah

Makalah ini akan diberi batasan sebagai berikut:

- 1) Performance dan durability Headlight LED dibanding dengan bulb.
- 2) Keunggulan headlight LED pada sepeda motor Honda.

1.4. Tujuan

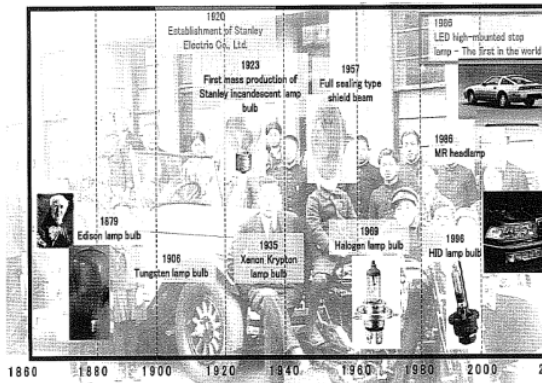
Makalah ini bertujuan untuk memperkenalkan implementasi headlight LED sebagai pengganti headlight menggunakan bulb pada sepeda motor Honda.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bidang transportasi massal, sepeda motor merupakan salah satu kendaraan yang saat ini berkembang pesat. Teknologi yang digunakan sepeda motor Honda diikuti perkembangan teknologi injeksi yang semakin semakin canggih. Salah satu teknologi pertama di Indonesia yang dikembangkan oleh Honda adalah headlight LED. Headlight merupakan komponen penting pada sepeda motor sebagai sumber cahaya di malam hari. LED digunakan sebagai pengganti bulb headlight pada sepeda motor Honda.

2.1. Perkembangan Bulb dan LED

Dalam sistem pencahayaan pada sepeda motor, diperlukan headlight sebagai penerang di malam hari. Headlight pada tipe-tipe motor Honda saat ini banyak yang menggunakan bulb. Perkembangan bulb pun dari tahun ke tahun mengalami perubahan. Perkembangan bulb ditunjukkan dalam Gambar 2.1.

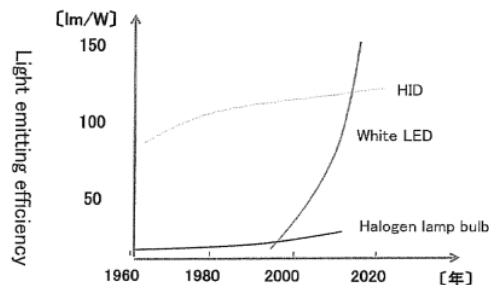


Gambar 2.1 Perkembangan bulb dari tahun ke tahun

Sumber: Toshiyoki Kondo, Stanley Electric Co.

Secara umum bulb pada sepeda motor Honda membutuhkan supply tegangan sebesar 12 V DC dengan konsumsi arus sebesar yang berbeda-beda sesuai watt nya.

Saat ini dikembangkan sumber cahaya lain yakni LED dimana sumber cahaya ini diharapkan memiliki efisiensi daya yang lebih baik. Namun tantangannya adalah untuk mencapai performance atau tingkat intensitas cahaya yang sama atau bahkan lebih dari bulb. Perkembangan dari development LED bisa dilihat di Gambar 2.2.



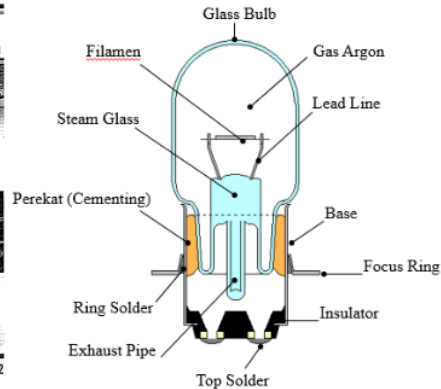
Gambar 2.2 Perkembangan Development LED

Sumber: Toshiyoki Kondo, Stanley Electric Co.

2.2. Macam-Macam bulb

Ada beberapa macam bulb yang digunakan pada sepeda motor Honda sebagai berikut :

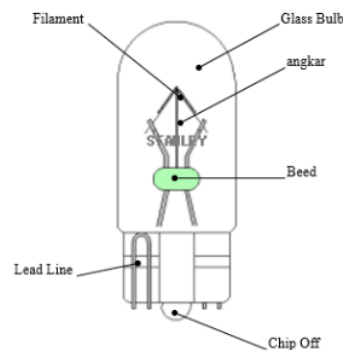
1) *Tipe T15* : Tipe ini biasa digunakan pada headlight sepeda motor cub dan matic. Bentuk fisik bulb T15 ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bulb T15

Sumber: Stanley Indonesia

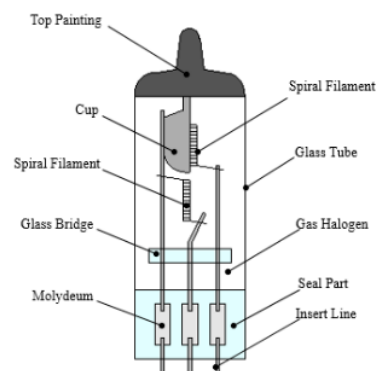
2) *Tipe Wedge Base*: Tipe ini biasa digunakan pada lampu sein sepeda motor. Bentuk fisik bulb wedge ditunjukkan dalam gambar 2.4



Gambar 2.4 Bulb wedge base

Sumber: Stanley Indonesia

3) *Tipe Halogen*: Tipe ini biasa digunakan pada headlight sepeda motor sport. Bentuk fisik bulb halogenditunjukkan dalam Gambar 2.5.

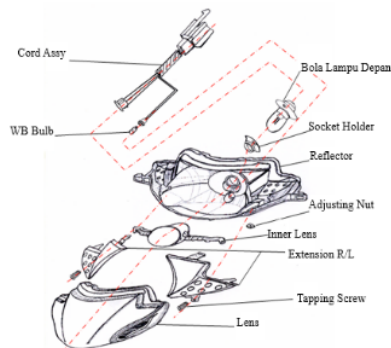


Gambar 2.5 Bulb halogen

Sumber: Stanley Indonesia

2.3. Bagian bagian dari Headlight

Secara umum bagian-bagian pada Headlight ditunjukkan dalam gambar 2.5.

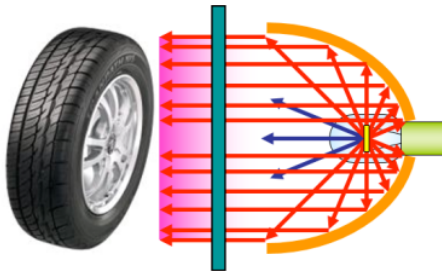


Gambar 2.5 Bagian-bagian headlight

Sumber : Stanley Indonesia

2.4. Prinsip kerja Headlight

Pada prinsipnya bulb memantulkan cahaya ke reflector dan diteruskan ke lens. Kemudian lensa menyebar dan memfokuskan ke arah objek di depannya. Ilustrasi tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2.6



Gambar 2.6 Prinsip kerja headlight

Sumber : Stanley Indonesia

2.5. LED

Inovasi terbaru Honda yaitu mengembangkan headlight yang dahulunya menggunakan bulb, sekarang menggunakan LED pada sepeda motor. Pengembangan ini dilakukan karena Honda ingin mewujudkan kondisi yang ramah lingkungan. Dengan menggunakan sumber daya yang lebih rendah namun menghasilkan performance yang sama atau lebih baik. LED yang digunakan pada type motor ini adalah type Flat. Bentuk fisik LED ditunjukkan dalam Gambar 2.7

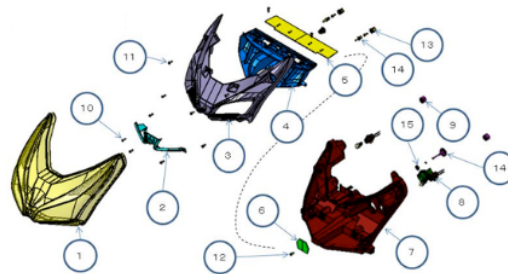


Gambar 2.7 LED type Flat

Sumber : Stanley Indonesia

2.6. Bagian-bagian Headlight LED

Adapun bagian-bagian pada Headlight ditunjukkan dalam Gambar 2.8



Gambar 2.8 Bagian-bagian Headlight LED

Sumber : Stanley Indonesia

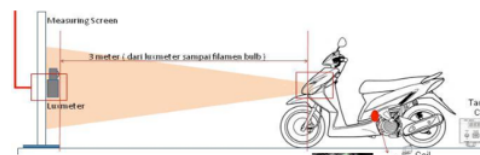
III. METODOLOGI PENGUJIAN

Makalah ini akan membandingkan secara langsung performance dan durability dari Headlight dengan menggunakan sumber cahaya Bulb dan sumber cahaya LED. Pengujian yang dilakukan dengan beberapa parameter pengujian sebagai berikut :

3.1. Pengujian Iluminasi Headlight

Fungsi utama dari headlight adalah memberikan penerangan cahaya jalan bagi pengendara, oleh karena itu hal utama yang harus diuji adalah tingkat intensitas cahaya dari headlight tersebut atau yang disebut dengan iluminasi.

Pengukuran iluminasi cahaya headlight mengacu pada peraturan perhubungan darat dengan mengukur titik tertinggi cahaya headlight dari jarak tertentu. Dengan aturan minimal intensitas cahaya headlight adalah 12.000 cd. Ilustrasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Ilustrasi Pengujian Iluminasi Headlight

Sumber : Kementerian Perhubungan

3.2. Pengujian Konsumsi daya Headlight

Hal yang saat ini menjadi perhatian adalah energi yang dikonsumsi oleh headlight. Dimana secara tidak langsung energi yang dikonsumsi headlight tentu saja akan membebani mesin sepeda motor sebagai sumber energi utama di sepeda motor. Sehingga tentu saja akan berpengaruh pada konsumsi bahan bakar sepeda motor. Maka semakin sedikit energi yang dikonsumsi headlight akan sedikit banyak bisa mengurangi konsumsi bahan bakar sepeda motor tersebut.

Konsumsi energi headlight bisa dilihat dari konsumsi dayanya. Dimana pada pengujian ini dilakukan dengan mengambil nilai arus tertinggi yang dikonsumsi dan tegangan tertinggi yang terjadi pada setiap RPM nya. Dari kedua nilai tertinggi tersebut kemudian dikalikan untuk menghasilkan nilai daya yang digunakan.

3.3. Pengujian Durability Headlight

Hal yang menjadi perhatian konsumen tentunya adalah daya tahan dari Bulb ataupun LED itu sendiri. Semakin lama daya tahannya maka akan menjadi nilai tambah tersendiri bagi konsumen karena tidak perlu terlalu sering melakukan penggantian.

Maka pada pengujian kali ini akan dilakukan pengujian daya tahan Bulb dan LED dengan menggunakan tegangan tertentu dan dinyalakan secara terus menerus. Dan dihitung berapa jam sampai Bulb atau LED putus atau tidak berfungsi.

3.4. Pengujian Panas area Headlight

Pengujian panas area headlight diperlukan untuk mengetahui disipasi panas yang dihasilkan oleh sebuah sumber cahaya. Energi panas merupakan energi sampingan lain dari sumber cahaya dimana sebenarnya yang diharapkan adalah konversi sepenuhnya dari energi listrik ke energi cahaya.

Selain itu panas yang ditimbulkan ini tentunya akan mempengaruhi juga ketahanan material dari komponen headlight lain terutama lensa yang terbuat dari material plastik.

Metode pengujian panas ini dilakukan dengan mengukur titik tertinggi panas yang dihasilkan di lensa. Kemudian diukur dengan menyalakan headlight secara terus menerus sampai temperature yang dihasilkan mencapai nilai saturasi.

IV. HASIL PENGUJIAN

Berikut akan dijelaskan hasil pengujian Headlight dengan bulb dan LED :

4.1. Hasil Pengujian Iluminasi

Hasil pengujian iluminasi Headlight dengan LED dibandingkan dengan Headlight dengan Bulb dapat dilihat di Tabel 4.1. Unit Headlight dengan Bulb yang diambil adalah unit motor base model.

Tabel 4.1 Hasil uji iluminasi Headlight LED vs Headlight Bulb

Standard Hubdar Min 12000 cd (3000 rpm)	Headlight LED	Headlight Bulb
	18054 cd	13857 cd

4.2. Hasil Pengujian Konsumsi Daya

Hasil pengujian konsumsi daya Headlight LED dan Headlight Bulb dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Uji Konsumsi Daya Headlight LED vs Headlight Bulb

	Headlight LED	Headlight Bulb
Voltage (V)	13.1	12.4
Current (A)	0.695	4.01
Power (V x I) (watt)	9.1	49.7

4.3. Hasil Pengujian Durability

Hasil pengujian konsumsi daya Headlight LED dan Headlight Bulb dapat dilihat pada Tabel 4.3. Pada pengujian headlight LED pada 2000 jam, LED masih bisa berfungsi, dan pengujian masih dilanjtkan. Sedangkan pada Headlight Bulb, Bulb putus pada jam tersebut (243 Jam).

Tabel 4.3. Hasil Uji Durability Headlight LED vs Headlight Bulb

	Headlight LED >2000 Hr	Headlight Bulb 243 Hr
--	---------------------------	--------------------------

4.4. Hasil Panas Area Headlight

Hasil pengujian panas lensa Headlight dengan LED dibandingkan dengan Headlight dengan Bulb dapat dilihat di Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Uji Panas Headlight LED vs Headlight Bulb

Standard Material Max 94 °C	Headlight LED	Headlight Bulb
	39.5 °C	58.2 °C

2

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Headlight LED memiliki tingkat iluminasi yang lebih baik, sekitar 38% lebih terang dibandingkan dengan Headlight Bulb.
- 2) Headlight LED memiliki tingkat konsumsi daya yang lebih kecil, sekitar 80% lebih hemat daya dibandingkan dengan Headlight Bulb.
- 3) Headlight LED memiliki durability yang lebih baik, sekitar 10 kali lebih tahan lama dibandingkan dengan Headlight Bulb.
- 4) Headlight LED menghasilkan panas yang lebih sedikit, sekitar 32% kali lebih dingin dibandingkan dengan Headlight Bulb.

Dari data hasil test, dapat disimpulkan bahwa Headlight LED memiliki semua keunggulan sebagai fungsi Headlight dibandingkan dengan Headlight Bulb. Ke depan pengembangan LED lebih diarahkan agar dapat diproduksi untuk seluruh type dan dapat menekan harga komponen menjadi lebih baik.

Daftar Pustaka

Kondo, Toshiyuki. 2014 *Automotive and Design in the Next Generation*. Stanley Electric Co.

- Menteri Perhubungan. 1993. *Persyaratan Ambang Batas Laik Jalan Kendaraan Bermotor, Kereta Gandengan, Kereta Tempelan Karoseri dan Bak Muatas Serta Komponen-komponennya*. Kementerian Perhubungan RI.
- Oh, Sejin. 2014. *Trends on Automotive Lighting Technology*. Hyundai Motor Co.
- Toshi, Takata. 2014. *The LED Headlamp is adopted for Mazda "Demio" – the headlamp at wich Mazda aims-*. Mazda Motor Co.

Mikrokontroller sebagai Pemroses Sinyal Digital untuk Ekstraksi ciri sinyal EMG

Triwiyanto

Jurusan Teknik Elektromedik, Politeknik Kesehatan
Surabaya, Indonesia. Triwiyanto123@gmail.com

Abstract—Mikrokontroller tidak hanya dapat digunakan untuk keperluan pengaturan masukan dan keluaran pada sistem digital, namun dapat juga digunakan untuk keperluan pemrosesan sinyal digital (PSD). Sinyal surface electromyography (sEMG) merupakan sinyal yang digunakan untuk mendeteksi kontraksi otot, yang mempunyai karakteristik random, sehingga memerlukan proses ekstraksi untuk mendapatkan informasi. Sinyal sEMG telah banyak diteliti untuk keperluan analisis otot manusia, gerak tiruan untuk robot dan teknik rehabilitasi. Sadapan elektroda untuk mendapatkan sinyal sEMG, untuk keperluan klasifikasi empat gerakan tangan dipasang pada otot *extensor carpi radialis longus*, *extensor carpi ulnaris*, *extensor digitorum communis*, dan *flexor digitorum profundus*, yang digunakan untuk mengenali empat pola gerak pergelangan tangan, *wrist grasp*, *wrist open*, *flexion*, dan *extension*. Proses ekstraksi ciri dilakukan pada minimum sistem mikrokontroller, dengan membenamkan bank filter IIR dan perhitungan V_{RMS} pada mikrokontroller ATMEGA1284p. Bank filter IIR menggunakan frekuensi tengah masing-masing 60 Hz, 120 Hz, 170 Hz dan 220 Hz. Metode ekstraksi ciri menggunakan V_{RMS} yang diukur pada rentang waktu setiap 200ms. Sehingga didapatkan ciri ekstraksi sejumlah 4 elektroda x 4 pita frekuensi x 5 V_{RMS} , total 80 ciri ekstraksi sinyal sEMG. Melalui proses ekstraksi ciri, maka didapatkan 80 ciri yang dapat menggambarkan masing-masing pola gerak yang berbeda. Ciri-ciri yang didapatkan untuk setiap gerakan yang sama, baik pada gerakan *flexion*, *extension*, *grasp* dan *open* didapatkan nilai *standard deviation* rata-rata 0.081967.

Keywords— sEMG, ekstraksi ciri, IIR, V_{RMS} , mikrokontroller, AVR

I. PENDAHULUAN

Meskipun mikrokontroller telah banyak digunakan dibidang teknik biomedik, akan tetapi penerapan mikrokontroller belum banyak digunakan untuk keperluan pemrosesan sinyal digital (PSD). Mikrokontroller dapat digunakan untuk keperluan pemrosesan sinyal digital, karena mempunyai arsitektur yang ampuh, *reduced instruction set computer* (RISC) dan *built in multi channel analog to digital converter* (ADC) dan *hardware multiplier*. *Hardware multiplier* diperlukan pada saat proses perkalian antara koefisien-koefisien filter digital dengan input dan output sinyal. Pemilihan mikrokontroller untuk keperluan PSD adalah dengan pertimbangan harga yang murah, konsumsi daya kecil dan dapat menggantikan peran sebuah komputer.

Pada penelitian ini PSD yang diimplementasikan pada mikrokontroller digunakan untuk keperluan ekstraksi ciri sinyal *surface electromyography* (sEMG), sehingga hasil ekstraksi ciri dapat digunakan untuk keperluan klasifikasi pola gerak tangan. Sinyal sEMG merupakan sinyal biolistrik yang dibangkitkan oleh otot pada saat terjadi kontraksi. Sinyal sEMG yang disadap pada bagian permukaan kulit dari bagian otot yang akan diukur disebut sebagai *surface EMG* (sEMG). Sinyal sEMG mempunyai amplitud yang sangat lemah sebesar 0 sd 5 mV, dengan rentang frekuensi 20 sampai dengan 500 Hz, dan frekuensi dominan pada daerah 200 Hz [1],[2],[3]. Pengukuran sinyal sEMG dilakukan dengan menggunakan elektroda disposable Ag(AgCl), dan melalui rangkaian bioamplifier untuk mendapatkan sinyal yang cukup kuat sebelum diumpankan ke rangkaian ADC. Sinyal sEMG telah banyak diaplikasikan diberbagai bidang, di bidang teknik biomedik, sinyal sEMG digunakan sebagai sinyal kontrol untuk proses rehabilitasi aktif dan implementasi lengan prostetik,[4],[5].

Pembuatan lengan prostetik telah banyak dibuat, sehingga dapat membantu bagi difabel dalam beraktifitas. Akan tetapi, kebanyakan lengan prostetik komersial yang telah dibuat (Otto Bock Sistem Electric Hand, Swedish Sistem Teknik Hand) dikontrol berdasarkan nilai amplitud sinyal sEMG yang melebihi nilai batas ambang tertentu, yang digunakan untuk mengaktifkan saklar ON/OFF pada motor tertentu. Untuk memperoleh parameter yang lain, seperti sudut, gaya dan arah gerakan tangan, hal ini tidak cukup dengan menggunakan informasi berdasarkan nilai amplitud [6],[7].

Ekstraksi ciri harus dilakukan pada sinyal sEMG untuk mendapatkan informasi yang lebih banyak, pada saat kita akan mengklasifikasikan gerakan fleksi, ekstensi, genggam dan buka pada bagian tangan. Ekstraksi ciri dapat dilakukan dengan berbagai macam metode antara lain, dalam domain waktu, menggunakan *integral sEMG*, *variance* dan *zero crossing* dan *root mean square* (RMS). Ekstraksi dalam domain frekuensi, menggunakan *mean frequency*, *mean power spectrum*, dan *standart deviation*. Ekstraksi ciri dalam domain waktu dan frekuensi dapat menggunakan *wavelet* [4].

Integrated Circuit (IC) *digital signal processor* telah banyak dibuat oleh beberapa perusahaan digital, yang dikhususkan untuk memproses sinyal secara digital. Pemilihan mikrokontroller konvensional sebagai PSD, didasarkan pada biaya yang murah dan mudah

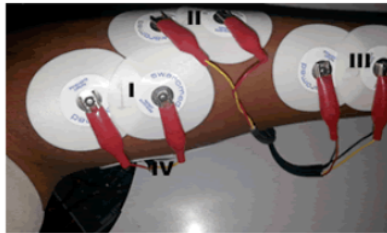
didapatkan dipasaran, sehingga untuk mempelajari dan menerapkannya tidak memerlukan waktu yang lama.

Dengan melihat beberapa alasan tersebut maka sangat tepat apabila mikrokontroler digunakan sebagai PSD, sehingga dapat diperoleh sistem yang *portable*, konsumsi daya yang minimal, kecepatan proses yang cepat apabila dibandingkan dengan penggunaan komputer. Mikrokontroler 8 bit AVR ATMEGA1284p, merupakan AVR yang tidak mahal dan mempunyai struktur *reduced instruction set computer* (RISC). Mikrokontroler ini dilengkapi I/O, ADC dan *timer* yang diperlukan pada penelitian ini, pemilihan seri MEGA1284 dikarenakan mempunyai 16 kByte SRAM *internal*, [8]. Kapasitas SRAM ini diperlukan untuk menampung variabel atau koefisien *filter*.

II. METODE

A. Pengambilan data

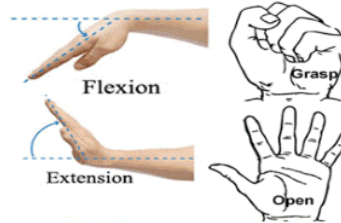
Pada penelitian ini, pengukuran sinyal sEMG dilakukan pada 6 orang subyek dalam keadaan sehat dengan jenis kelamin laki-laki, rentang usia 20 sampai dengan 30 tahun, dan berat badan 50 sampai dengan 65 kg. Proses akuisisi data dilakukan dengan cara subyek melakukan gerakan pada pergelangan tangan yang dilakukan secara berurutan: *wrist grasp*, *wrist open*, *flexion*, dan *extension*, [2]. Sistem instrumentasi untuk proses akuisisi data dilakukan dengan menggunakan tiga bagian, *bioamplifier*, sistem minimum mikrokontroler, komunikasi *port serial* ke PC, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. *Bioamplifier* merupakan bagian paling utama pada instrumentasi ini, yang digunakan untuk pengambilan data sinyal sEMG, yang dilakukan pada empat titik sadapan yang berbeda, masing-masing sadapan I *extensor carpi radialis longus*, sadapan II *extensor carpi ulnaris*, sadapan III *extensor digitorum communis*, dan sadapan IV *flexor digitorum profundus*, [2] dan titik referensi diletakkan pada bagian tendon, ujung persendian lengan, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Titik-titik sadapan sinyal sEMG, *extensor carpi radialis longus*, *extensor carpi ulnaris*, *extensor digitorum communis*, dan *flexor digitorum profundus*.

Sinyal sEMG disadap pada empat titik sadapan yang berbeda dengan sadapan bipolar, satu titik sadapan memerlukan dua buah elektroda Ag(AgCl), sehingga total penggunaan elektroda adalah delapan buah elektroda dan satu buah elektroda referensi, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 1. Keluaran sinyal sEMG ini belum dapat diklasifikasikan untuk dapat membedakan empat pola

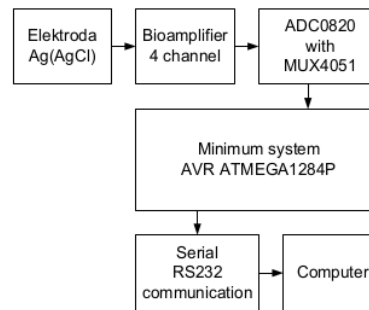
gerakan tangan. Oleh karena itu sinyal sEMG ini perlu di ekstraksi untuk mendapatkan ciri-ciri yang dapat membedakan gerakan *wrist grasp*, *wrist open*, *flexion*, dan *extension*, sebagaimana pola gerakan ditunjukkan pada Gambar 2.



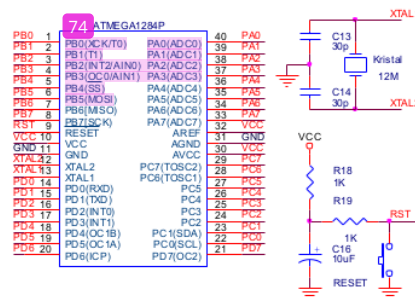
Gambar 2. Pola gerakan tangan

B. Perangkat Keras

Perangkat keras untuk sistem akuisisi data sinyal sEMG terdiri dari tiga bagian, *bioamplifier*, mikrokontroler dan komputer, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3. *Bioamplifier* terdiri dari *preamplifier* AD620 yang merupakan penguat instrumentasi, *bandpass filter* analog orde 2, yang terdiri dari *high pass filter* dengan frekuensi *cut off* 20 Hz dan *low pass filter* dengan frekuensi *cut off* 500 Hz, *notch filter* 50 Hz, dan *summing amplifier* untuk mengatur *offset* keluaran sinyal sEMG. Penyiapan sinyal sEMG menggunakan elektroda *disposable* Ag(AgCl).



Gambar 3. Blok diagram sistem akuisisi data sinyal sEMG



Gambar 4. Minimum sistem mikrokontroler AVR ATMEGA1284

Minimum sistem menggunakan mikrokontroler AVR ATMEGA1284p, ADC0820 dengan *multiplexer* 4051 ,

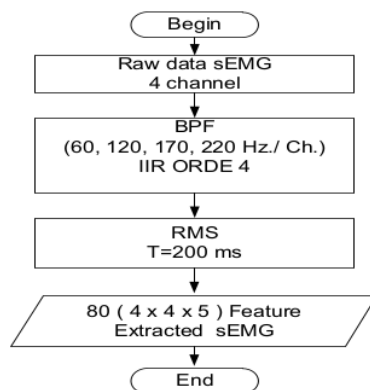
RAM eksternal 62256 dan port serial. Rangkaian sistem minimum AVR ATMEGA1284 ini dibangun sebagai pemroses sinyal digital, chip ini punya SRAM sebesar 16 Kbyte, dan 128 kbyte flash, sehingga diharapkan mampu untuk menampung konstanta-konstanta IIR dan penyimpanan variabel-variabel pada pemrosesan sinyal digital. Rangkaian minimum sistem ditunjukkan pada gambar 4. Komunikasi serial RS232 diperlukan untuk mengambil data hasil pengolahan sinyal digital pada sistem minimum dan dikirim ke komputer untuk proses analisis selanjutnya.

ADC0820 berfungsi untuk konversi tegangan analog ke digital, ADC ini mempunyai waktu konversi 20 μ s, sehingga mampu untuk akuisisi sinyal sEMG empat kanal. Multiplexer 4051 digunakan sebagai multiplexer analog empat masukan bioamplifier, sebelum diproses rangkaian ADC.

Untuk mengetahui keberhasilan pemrosesan data digital pada mikrokontroler maka perlu dilakukan perbandingan dengan menggunakan pemrograman delphi. Data-data hasil pemrosesan yang dilakukan oleh mikrokontroler selanjutnya dikirim melalui komunikasi serial RS232 ke komputer, selanjutnya data dibandingkan dengan pemrosesan yang dilakukan pada komputer.

C. Perangkat Lunak

Pemrosesan Data Sinyal sEMG pada mikrokontroler dilakukan menjadi dua tahap yaitu: pemrosesan data dengan menggunakan *bank filter* IIR dengan empat pita frekuensi yang berbeda dan pemrosesan yang kedua adalah dengan menggunakan *root mean square* (RMS) pada sinyal sEMG, dengan diagram alir ditunjukkan pada gambar 3. *Bank filter* IIR yang dibangun adalah butterworth orde 4, dengan frekuensi pusat masing-masing 60 Hz, 120 Hz, 170 Hz dan 220 Hz, sehingga untuk akuisisi sinyal empat kanal maka akan didapatkan 4 kanal x 4 bandpass filter = 16 komponen sinyal sEMG.



Gambar 5. Diagram alir proses ekstraksi ciri sinyal sEMG

Filter digital dapat dicirikan melalui karakteristik dari fungsi transferranya atau dari persamaan beda sebagai berikut [9]:

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_N z^{-N}} \quad (1)$$

Koefisien filter IIR yang dibangun pada mikrokontroler ini ditentukan dengan menggunakan program aplikasi Matlab, Filter IIR yang dibangun dengan spesifikasi sebagai berikut: orde 4, butterworth, frekuensi sampling 1000 Hz. Sebagai contoh, berikut merupakan instruksi dengan menggunakan aplikasi Matlab, untuk menentukan koefisien filter IIR dengan spesifikasi orde 4, butterworth, frekuensi sampling 1000 Hz, frekuensi cutoff 50 dan 70 Hz.

```
[b,a]=butter(2,[50 70]/(1000/2),'bandpass')
```

Dengan instruksi tersebut maka akan menghasilkan koefisien filter sebagai berikut:

```
b = 0.0036  0  -0.0072  0  0.0036
a = 1.0000 -3.5613  4.9991 -3.2579  0.8372
```

nilai tersebut menunjukkan koefisien filter IIR adalah sebagai berikut: $b_0=0.0036$, $b_1=0$, $b_2=-0.0072$, $b_3=0$, $b_4=0.0036$ dan $a=1.00$, $b_1=-3.5613$, $b_2=4.9991$, $b_3=-3.2579$, $b_4=0.8372$.

Implementasi koefisien filter dengan menggunakan persamaan beda, akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$y(n) = 0.0036.x(n) - 0.0072.x(n-2) + 0.0036.x(n-4) + 3.5613.y(n-1) - 4.9991.y(n-2) + 3.2579.y(n-3) - 0.8372.y(n-4)$$

Mikrokontroler AVR mempunyai fungsi multiplier 8 bit, sehingga untuk mempercepat proses ekstraksi ciri maka, koefisien filter dengan format bilangan floating point dirubah menjadi format bilangan fixed point, dan pembulatan dengan nilai terdekat, dengan cara mengalikan setiap koefisien filter dengan konstanta 2^{11} . Berikut merupakan contoh lengkap proses perkalian bilangan *floating point* menjadi *fixed point*.

```
b0=0.0036 x 211 ~ 7      a0=1
b1=0       x 211 ~ 0      a1=-3.5613 x 211 ~ -7294
b2=-0.0072 x 211 ~ -15   a2= 4.9991 x 211 ~ 10238
b3=0       x 211 ~ 0      a3=-3.2579 x 211 ~ -6672
b4=0.0036 x 211 ~ 7      a4= 0.8372 x 211 ~ 1714
```

Selanjutnya untuk mempermudah dalam proses pemrograman, maka konstanta-konstanta tersebut dapat diletakkan pada flash ROM mikrokontroler AVR. Berikut merupakan contoh penulisan konstanta-konstanta filter pada pemrograman codevision AVR dalam bentuk array.

```
flash const int b60[5]={7,0,-15,0,7};
flash const int a60[5]={0,-7294,10238,-6672,1714};
```

indeks 60 pada b60 dan a60 menyatakan konstanta IIR untuk band pass filter dengan frekuensi cutoff 50 sampai dengan 70 Hz atau center frekuensi 60 Hz. Bilangan 5 yang berada didalam tanda kurung menyatakan banyaknya konstanta pada tipe data array. Setelah proses konversi dari *floating point* ke *fixed point* maka implementasi penulisan instruksi digital filter IIR dapat dituliskan dalam bentuk pemrograman

codevision AVR, sebagaimana yang ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

$$y00 = (b60[0]*x00 + b60[1]*x01 + b60[2]*x02 + b60[3]*x03 + b60[4]*x04 - a60[1]*y01 - a60[2]*y02 - a60[3]*y03 - a60[4]*y04) / 2048;$$

Setelah melalui proses pemisahan sinyal sEMG menjadi 4 pita frekuensi dengan bandpass filter 60, 120, 170 dan 220, maka didapatkan 16 pita frekuensi untuk 4 sadapan sinyal sEMG.

D. Ekstraksi ciri dengan V_{RMS}

Untuk mendapatkan ciri dari sinyal sEMG langkah selanjutnya adalah menghitung nilai V_{RMS} untuk rentang waktu tertentu. Pada penelitian ini rentang pengukuran V_{RMS} dilakukan setiap 200 ms untuk sinyal sEMG sepanjang 1000 ms. Dari proses penentuan V_{RMS} sinyal tersebut akan didapatkan data sebesar sebanyak 5 buah, untuk rentang pengukuran 1000 ms untuk setiap satu sadapan sinyal sEMG, perhitungan nilai V_{RMS} ditunjukkan pada persamaan 2 [4].

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} v_i^2} \quad (2)$$

Dimana i ($i=0, 1, 2, \dots, N$) menyatakan jumlah sample data sinyal EMG, v menyatakan amplitudo sinyal sEMG.

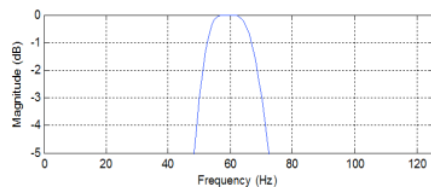
Pengukuran nilai V_{RMS} dilakukan untuk setiap segmen sepanjang 200 ms. Sehingga penulisan persamaan tersebut dapat dituliskan dengan menggunakan pemrograman codevision AVR sebagai berikut:

```
for( i=0; i<200; i++)
{
    sumvi+=v[i]*v[i];
}
RMS=sqrt(sumvi/200);
```

III. HASIL

A. Respons Frekuensi IIR

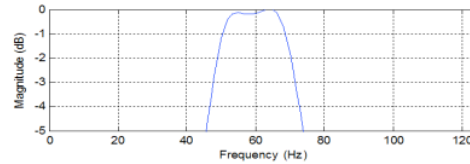
Konversi koefisien filter IIR dari bilangan *floating point* ke bilangan *fixed point* memberikan pengaruh pada *response filter*. Berikut merupakan contoh perbandingan respon frekuensi terhadap *magnitude filter IIR* untuk *bandpass filter* frekuensi *cutoff* 50 dan 70 Hz, antara koefisien *floating point* dan *fixed point*.



Gambar 6. Respon *bandpass filter* dengan koefisien *floating point*.

Pada gambar 7, respons amplitudo mengalami penurunan pada frekuensi tengah, bila dibandingkan

dengan gambar 6. Tetapi pada respon frekuensi didapatkan nilai *cut off* yang sama.

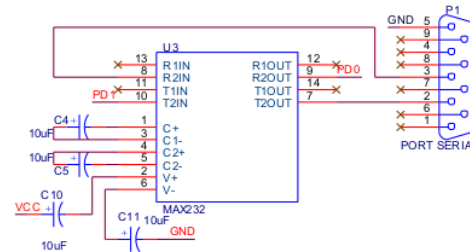


Gambar 7. Respon *bandpass filter* dengan koefisien *fixed point*

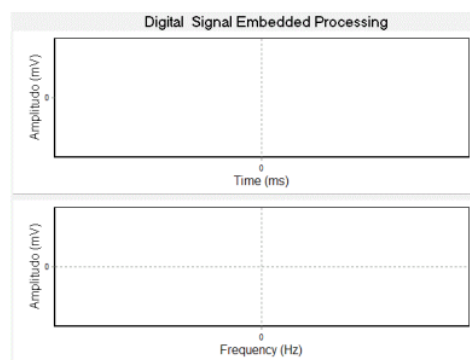
Sehingga penggunaan koefisien filter digital dalam bentuk *fixed point* masih dapat diterima dalam penggunaannya, karena respons frekuensi tidak menunjukkan perubahan atau pergeseran.

B. Bandpass filter IIR

Hasil perancangan *digital filter IIR* pada mikrokontroller perlu diuji untuk melihat apakah keluaran yang dihasilkan sudah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Untuk itu diperlukan komunikasi serial, yang bertujuan untuk mengirimkan data hasil proses *digital filter IIR* dan pemrosesan ekstraksi ciri yang terjadi didalam mikrokontroller ke komputer, dengan sistem komunikasi yang ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Komunikasi *serial RS232* mikrokontroller ke komputer

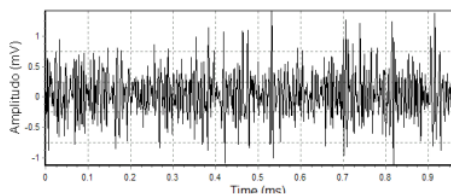


Gambar 9. Program Delphi untuk menampilkan data sinyal EMG dalam domain waktu dan spektrum sinyal dalam domain frekuensi.

Dengan menggunakan pemrograman Delphi, maka data hasil pemrosesan dengan filter digital IIR pada mikrokontroller dapat dikirim ke komputer menggunakan komunikasi serial RS232. Gambar 9 merupakan contoh tampilan pemrograman Delphi

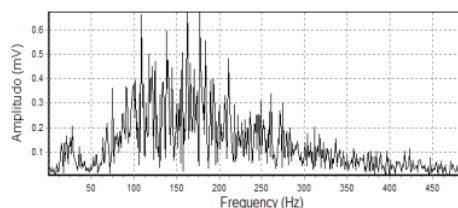
untuk menampilkan data hasil filter IIR pada mikrokontroller. Dengan menggunakan pemrograman ini maka dapat diketahui kebenaran proses yang terjadi didalam mikrokontroller. Pada gambar 9 menunjukkan bagian atas, untuk menampilkan sinyal sEMG dalam domain waktu, sedangkan bagian bawah untuk menampilkan spektrum sinyal sEMG dalam domain frekuensi.

Percobaan dilakukan pada 5 orang sehat dengan kondisi fisik yang sama, usia 20 sd 30 dan berat badan 50 sd 65 kg. Pengukuran sinyal sEMG dilakukan pada empat titik berbeda pada bagian : *extensor carpi radialis longus* (sadapan I), *extensor carpi ulnaris* (sadapan II), *extensor digitorum communis* (sadapan III), dan *flexor digitorum profundus* (sadapan IV), elektroda netral diletakkan pada ujung siku sendi, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 1. Naracoba harus mempertahankan posisi dengan sudut 90 derajat, dengan beberapa variasi beban 2 kg sd 5 kg. Proses pengukuran dilakukan pada saat subyek melakukan satu gerakan, dalam keadaan *isometric*, dan dipertahankan dalam waktu 5 detik, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8. Gerakan yang sama diulang beberapa kali untuk mendapatkan nilai rata-rata pengukuran. Pada pengukuran ini dihindarkan subyek dalam keadaan letih, karena keadaan letih dapat mempengaruhi sinyal sEMG.



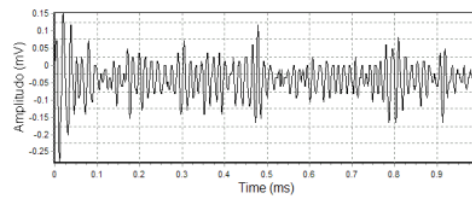
Gambar 10. Sinyal sEMG gerak ekstensi pada sadapan I

Gambar 10 merupakan contoh sinyal sEMG untuk sadapan I, otot *extensor carpi radialis longus*, pada gambar 10 tersebut tampak sinyal dalam keadaan random dalam domain waktu untuk gerak ekstensi. Pada gambar 11 menunjukkan spektrum sinyal sEMG dalam domain frekuensi, terletak pada kisaran 50 sd 300 Hz. Dengan melihat frekuensi dominan tersebut, maka dapat ditentukan beberapa pita frekuensi yang dianggap penting.



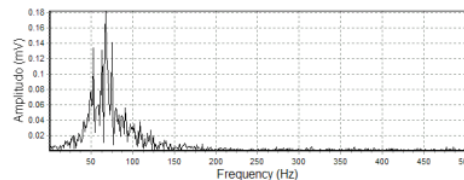
Gambar 11. Sinyal sEMG gerak ekstensi pada sadapan I

Untuk mendapatkan ciri-ciri pada sinyal sEMG maka diperlukan pemrosesan menggunakan bank filter IIR, dengan frekuensi tengah 60Hz, 120 Hz, 170 Hz, dan 220 Hz. Gambar 12 merupakan sinyal sEMG gerak ekstensi pada sadapan I yang melalui proses filter IIR dengan frekuensi cutoff 50 Hz sampai dengan 70 Hz.



Gambar 12. Sinyal sEMG untuk sadapan elektroda I setelah melalui proses filter IIR dengan frekuensi cutoff bandpass filter 50 dan 70 Hz

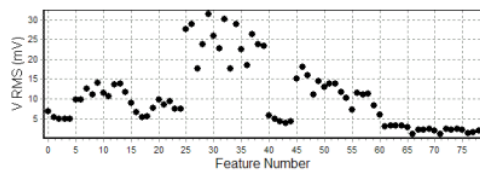
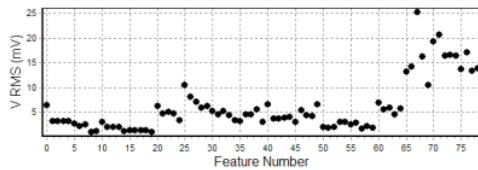
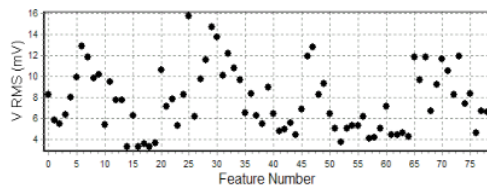
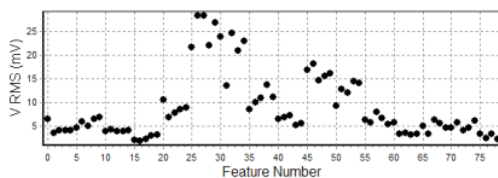
Gambar 13 menunjukkan hasil pemrosesan sinyal sEMG dengan menggunakan FFT, yang diproses dengan menggunakan pemrograman delphi, dengan data yang didapatkan dari mikrokontroller setelah melalui proses digital filter IIR, sehingga akan tampak sebaran frekuensi untuk kisaran frekuensi 50 Hz sampai dengan 70 Hz, dibandingkan dengan spektrum sEMG sebelum proses digital filter. Pada gambar 13 ini juga menjelaskan bahwa implementasi digital filter pada mikrokontroller telah berjalan dengan baik.



Gambar 13. Spektrum sinyal sEMG untuk sadapan elektroda I setelah melalui proses filter IIR dengan frekuensi cutoff bandpass filter 50 dan 70 Hz

Data hasil pemrosesan filter digital IIR untuk empat sadapan sinyal sEMG, selanjutnya diproses di dalam mikrokontroller dengan menggunakan metode *root mean square* (RMS), dan selanjutnya hasil dari pemrosesan RMS ini disebut sebagai ciri ekstraksi. Pada percobaan klasifikasi 4 gerakan tangan (*flexion*, *extension*, *grasp* dan *open*) didapatkan data untuk satu gerakan, 4 channel x 4 pita frekuensi x 5 RMS sinyal sEMG, sehingga didapatkan data untuk satu pola gerak tangan adalah 80 ciri ekstraksi. Hasil pemrosesan RMS sinyal sEMG selanjutnya dikirim ke komputer melalui komunikasi serial RS232, untuk melihat apakah proses perhitungan sudah benar. Gambar 14-17 menunjukkan hasil pemrosesan RMS untuk empat gerak yang berbeda, dengan sumbu x adalah ciri ke n dan sumbu-y adalah nilai amplitud dalam RMS.

Dari hasil percobaan didapatkan ciri-ciri yang mempunyai pola yang sama untuk setiap gerak yang sama, tetapi setiap gerakan mempunyai pola ciri yang berbeda-beda. Pada penelitian selanjutnya pola-pola gerak ini dapat dikenalkan ke jaringan syaraf tiruan untuk identifikasi gerak.

Gambar 14. Ciri-ciri pada gerakan *extension*Gambar 15. Ciri-ciri pada gerakan *flexion*Gambar 16. Ciri-ciri pada gerakan *grasp*Gambar 17. Ciri-ciri pada gerakan *open*

Hasil perhitungan *standard deviation* untuk masing-masing 5 data perulangan ciri gerakan *flexion*, *extension*, *grasp* dan *open*, didapatkan nilai rata-rata *standard deviation* masing-masing sebesar: 0.0789, 0.1162, 0.0707, dan 0.0619. Data ini menunjukkan bahwa untuk setiap gerakan perulangan yang sama akan diperoleh ciri-ciri yang sama.

IV. KESIMPULAN

Penggunaan mikrokontroller untuk aplikasi pemrosesan sinyal secara digital dirasakan sangat efektif karena proses yang terjadi adalah sangat cepat dan hal ini bergantung pada kecepatan *clock* yang digunakan dan dapat diatur pada mikrokontroller. Penggunaan mikrokontroller untuk keperluan ini harus memenuhi persyaratan, antara lain, kebutuhan SRAM internal yang cukup besar, dikarenakan harus menyimpan variabel dan koefisien *filter* dalam jumlah yang cukup besar.

Penggunaan mikrokontroller untuk keperluan digital filter akan lebih baik apabila mempertimbangkan penggunaan *fixed point* dibandingkan dengan *floating point*. Karena mikrokontroller AVR ATMEGA1284P hanya mempunyai fungsi *multiplier* 8 bit.

Perhitungan ekstraksi ciri dengan menggunakan mikrokontroller ATMEGA1284P, sangat berguna pada saat implementasi untuk sistem yang portabel, sehingga dapat menggantikan peran komputer.

Ciri-ciri yang didapatkan untuk setiap gerakan yang sama, baik pada gerakan *flexion*, *extension*, *grasp* dan *open* didapatkan nilai *standard deviation* rata-rata untuk keempat gerakan tersebut sebesar 0.081967.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Carlo J. De Luca, "Surface Electromyography: Detection and Recording, Delsys, 2002.
- [2] Martini, "Fundamentals of Anatomy and Physiology", Ninth Edition, PEARSON, 2012
- [3] Peter Konrad, "The ABC of EMG, A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography", Version 1.0, 2005, Noraxon, USA.
- [4] Angkoon Phinyomark, Chusak Limsakul, and Pornchai Phukpattaranont "Feature Reduction and Selection for EMG Signal Classification", ELSEVIER Expert System with Application (2012) 7420-7431.
- [5] Angkoon Phinyomark, Chusak Limsakul, and Pornchai Phukpattaranont, "A novel Feature Extraction for Robust EMG Pattern Recognition", Journal of Computing, volume 1, Issue 1, December 2009, pp. 71-80
- [6] Kentaro Nagata, Keiichi ADNO, Masafumi YAMADA, "A Classification Method of Hand Movements Using Multi-Channel Electrode", IEEE 2005, Shanghai China
- [7] Inhyuk Moon, Myoungjoon Lee, and Museong Mun, "A novel EMG based Human Computer Interface for Person with Disability", IEEE 2004
- [8] ATMEL, "8 Bit Microcontroller with 16/32/128Kbyte In System Programmable Flash, ATMEGA1284P", 2012, ATMEL Corporation.
- [9] Li Tan, "Digital Signal Processing – Fundamental and Applications", 2008, Elsevier Inc.

Pemodelan MUX/DEMUX 8 Bit dengan Teknologi *High Speed* CMOS

M. Julius, Erny Anugrahany, Onny Setyawati

Teknik Elektro Universitas Brawijaya

Jalan M.T Haryono No.167 Malang 65145 Indonesia

Email : erny.anugrahany@gmail.com

Abstrak—Pemodelan ini bertujuan untuk membuat suatu rangkaian MUX/DEMUX 8 Bit dengan menggunakan teknologi *high speed* CMOS. Simulasi yang dilakukan untuk menguji rangkaian MUX/DEMUX 8 bit menggunakan software *B²Spice* dengan nilai $C_L=5$ pF, $K_N=45 \mu A/V^2$ dan $K_P=18 \mu A/V^2$. Spesifikasi hasil model simulasi *propagation delay* pada kondisi MUX aktif adalah $t_{PLH}=3,16$ ns, $t_{PHL}=1$ ns, dan $t_{PD}=2,08$ ns. Sedangkan model simulasi dengan kondisi DEMUX aktif menghasilkan nilai $t_{PLH}=3,2$ ns, $t_{PHL}=1$ ns, dan $t_{PD}=2,1$ ns, dan disipasi daya sebesar 0,125 mW dan hasil dari simulasi VTC adalah $V_{IH}=2,805$ V; $V_{IL}=2,695$ V; $V_{OH}=5$ V; $V_{OL}=0$ V; $N_{MH}=2,195$ V dan $N_{ML}=2,695$ V.

Kata Kunci: *B²Spice*, Multiplexer - Demultiplexer, HCMOS, disipasi Daya, *propagation delay*

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia telekomunikasi, rangkaian multiplexer (MUX) dan demultiplexer (DEMUX) merupakan alternatif untuk penghematan biaya penggunaan saluran komunikasi serta dijadikan sebagai suatu cara untuk mengatasi keterbatasan saluran komunikasi.

Teknologi HCMOS adalah teknologi CMOS yang didesain secara khusus sehingga memiliki *propagation delay* yang sama atau lebih baik daripada TTL dan memiliki kelebihan lain dalam hal disipasi daya dan *noise margin* yang lebih baik daripada CMOS [1].

Penelitian yang berkaitan dengan *integrated circuit (IC) design* telah dilakukan, diantaranya yaitu desain 2:1 Multiplexer dan 1:2 Demultiplexer dengan teknologi standard CMOS 120nm [2], dan desain IC decoder peraga matrix 7x5 [1]. Rangkaian multiplexer dan demultiplexer 4 bit dalam satu modul dengan menggunakan teknologi HCMOS telah dirancang dan diperoleh *propagation delay* yang rendah dalam orde ns [3].

Makalah ini berisi perancangan rangkaian multiplexer dan demultiplexer dengan teknologi HCMOS yang menggunakan data sebanyak 8 bit. Dalam model simulasi digunakan transistor level 1 yang merupakan transistor ideal, hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang ideal dalam beberapa aspek seperti VTC (*Voltage Transfer Characteristic*), *propagation delay* yang cepat, dan disipasi daya yang rendah.

II. METODE PENELITIAN

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah menentukan rangkaian MUX/DEMUX 8 bit. Rangkaian ini meliputi rangkaian logika dan rangkaian transistor pengganti masing – masing gerbang logika.

Setelah rangkaian logika dan rangkaian transistor ditentukan, dilanjutkan dengan analisis VTC dan analisis *propagation delay* serta disimulasikan dengan program *B²Spice*.

A. Desain Rangkaian

Rangkaian MUX/DEMUX 8 bit terdiri dari rangkaian 8-to-1 (8 input to 1 output) MUX dan 1-to-8 DEMUX yang dibuat dalam satu rangkaian sehingga dibutuhkan masukan *Enable* yang berfungsi untuk menentukan rangkaian tersebut berfungsi sebagai MUX atau DEMUX. Untuk rangkaian tersebut dibutuhkan tiga buah sinyal kontrol.

Setelah mengetahui hubungan antara masukan dan keluaran, sinyal kontrol serta *enable* maka diperoleh fungsi persamaan keluaran (Y, Y0, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7) sebagai berikut:

$$Y = EI_0S_0'S_1'S_2' + EI_1S_0'S_1'S_2 + EI_2S_0'S_1S_2' + EI_3S_0'S_1S_2 + EI_4S_0S_1'S_2' + EI_5S_0S_1'S_2 + EI_6S_0S_1S_2' + EI_7S_0S_1S_2$$

$$Y_0 = EI_0S_0'S_1'S_2'$$

$$Y_1 = EI_1S_0'S_1'S_2$$

$$Y_2 = EI_2S_0'S_1S_2'$$

$$Y_3 = EI_3S_0'S_1S_2$$

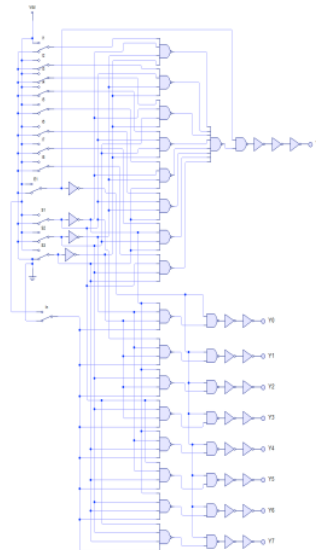
$$Y_4 = EI_4S_0S_1'S_2'$$

$$Y_5 = EI_5S_0S_1'S_2$$

$$Y_6 = EI_6S_0S_1S_2'$$

$$Y_7 = EI_7S_0S_1S_2$$

Dari fungsi persamaan keluaran tersebut, diperoleh rangkaian logika penyusun IC MUX/DEMUX 8 Bit seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Logika MUX/DEMUX 8 Bit dengan Kaskada

B. Desain Nilai W/L

Dalam merancang IC HCMOS terdapat beberapa parameter proses yang telah ditetapkan nilainya untuk mengetahui karakter divais dan mempermudah proses analisis. Beberapa parameter dasar tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1 yang merupakan parameter *owner's manual* dan *rule file* dalam perangkat lunak *Microwind2* dengan teknologi 0,12 μ m CMOS proses ($\lambda = 0,06\mu$ m).

Tabel 1. Parameter Desain Transistor CMOS

Simbol	NMOS	PMOS	Keterangan
ϵ_{ox}	2.3×10^{-23} F/cm		Konstanta dielektrik polisilikon
μ_e/μ_n	580 cm ² /V.s	-	Mobilitas rata-rata elektron dalam saluran antara <i>drain</i> dan <i>source</i>
μ_h/μ_p	-	230 cm ² /V.s	Mobilitas rata-rata <i>hole</i> dalam saluran antara <i>drain</i> dan <i>source</i>
V_T	1V	-1V	Tegangan ambang pada PMOS dan NMOS
γ	$0.4V^{0.5}$		Gamma, <i>Bulk threshold parameter</i>
$2\Phi_F$	0.3V		Phi, <i>surface potential at strong inversion</i>
t_{ox}	15nm		Ketebalan oksida gerbang (<i>Gate</i>)
V_{DD}	5V		Tegangan catu
K_n	$300\mu A/V^2$	-	Parameter transkonduktansi transistor NMOS
K_p	-	$120\mu A/V^2$	Parameter transkonduktansi transistor PMOS

Sumber: *Owner's manual* Microwind2

Parameter dari Tabel 1 digunakan untuk mendapatkan nilai W dan L sehingga didapatkan nilai W dan L gerbang-gerbang dasar adalah sebagai berikut:

$$W_P = 15\lambda = 0.9\mu\text{m} \text{ dan } L_P = 2\lambda = 0.12\mu\text{m}$$

$$W_N = 6\lambda = 0.36\mu\text{m} \text{ dan } L_N = 2\lambda = 0.12\mu\text{m}$$

Nilai W dan L untuk kaskada, yaitu:

1. Kaskada Pertama

$$W_P = W_N = 3W_{N1} = 1.08\mu\text{m} \text{ dan } L_P = L_N = 0.12\mu\text{m}$$

2. Kaskada Kedua

$$W_P = W_N = 9W_{N1} = 3.24\mu\text{m} \text{ dan } L_P = L_N = 0.12\mu\text{m}$$

C. Perancangan Transistor PMOS dan NMOS serta Layout untuk Masing-Masing Gerbang.

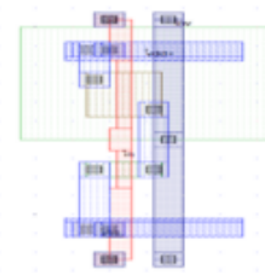
Perancangan transistor untuk rangkaian MUX/DEMUX 8 bit dilakukan pada masing-masing gerbang penyusun IC. Rangkaian MUX/DEMUX 8 bit terdiri dari 5 gerbang inverter, 9 gerbang NAND 2 input, 16 gerbang NAND 4 input, 1 gerbang NAND 8 input dan 18 inverter kaskada yang mana masing-masing gerbang saling berhubungan seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.

Tiap gerbang tersusun atas rangkaian transistor PMOS dan NMOS serta dibuat dengan menggunakan program *B²Spice* dan dibuat *layout*-nya dengan menggunakan program *Microwind2* seperti ditunjukkan dalam Gambar 2 sampai Gambar 5.

Dalam Gambar 2 sampai Gambar 5 ditunjukkan layout dari rangkaian transistor pengganti gerbang dengan warna merah untuk *polysilicon*, kuning untuk *difusi-p*, hijau untuk *difusi-n*, biru muda untuk *metal 1*, biru tua untuk *metal 2*, dan hitam untuk *contact*.

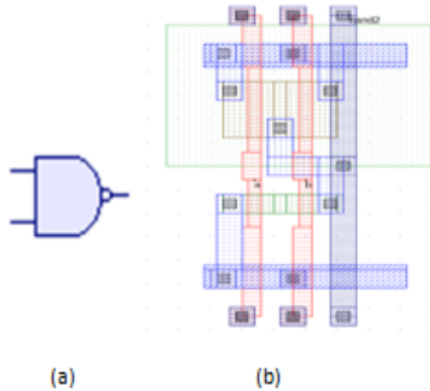


(a)

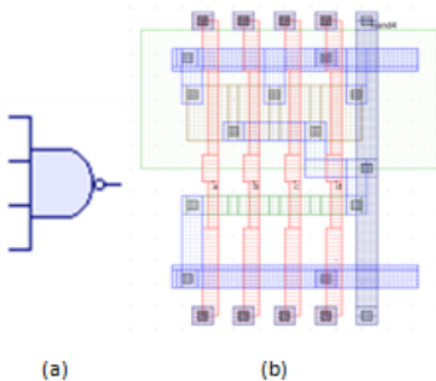


(b)

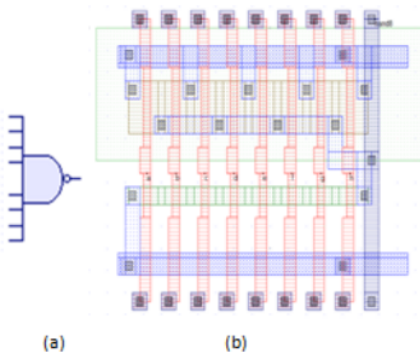
Gambar 2. (a) Rangkaian Logika Inverter (b) Layout Inverter (software Microwind2)



Gambar 3. (a) Rangkaian Logika NAND 2 Input (b) Layout NAND 2 Input (software Microwind2)



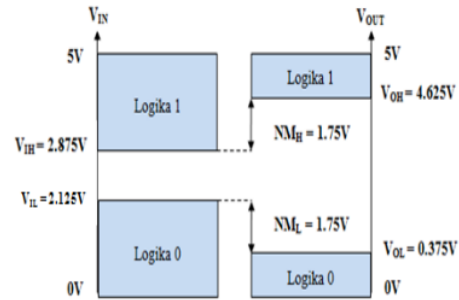
Gambar 4. (a) Rangkaian Logika NAND 4 Input (b) Layout NAND 4 Input (software Microwind2)



Gambar 5. (a) Rangkaian Logika NAND 8 Input (b) Layout NAND 8 Input (software Microwind2)

D. Analisis VTC dan Noise Margin

Untuk mendapatkan nilai V_{IL} , V_{OH} , V_{IH} dan V_{OL} dilakukan dengan memasukkan parameter yang ada dalam Tabel 1 ke dalam persamaan untuk memperoleh *noise margin*, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 7. Noise margin hasil perhitungan manual

E. Analisis Propagation Delay dan Disipasi Daya

Untuk mengetahui besarnya *propagation delay* dari rangkaian maka dilakukan perhitungan t_{PLH} , t_{PHL} , t_r , t_f , dan t_{PD} dengan menggunakan beberapa variasi parameter transkonduktansi dan variasi nilai C_L . Dari beberapa variasi tersebut didapatkan nilai T_{PD} seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.

Setelah mengetahui besarnya *propagation delay*, analisis dilanjutkan dengan perhitungan disipasi daya menggunakan Persamaan (1) dan (2) [5].

$$P_D = C_L V_{DD}^2 f$$

(1)

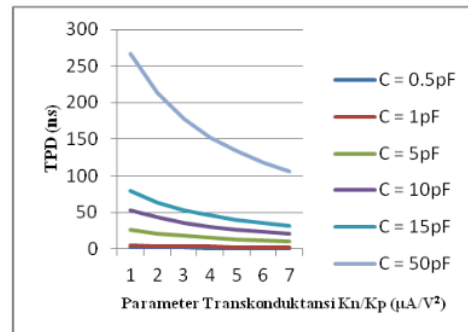
$$P_{DP} = t_{PD} \cdot P_D$$

(2)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

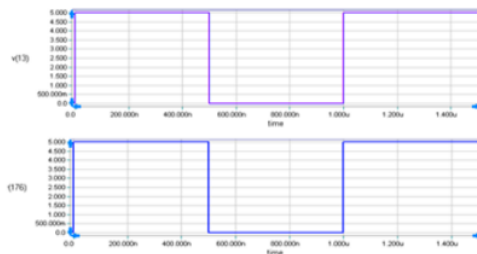
A. Propagation Delay

Semakin kecil nilai *propagation delay* maka kecepatan proses suatu IC juga semakin baik. Dalam perancangan dikehendaki nilai *propagation delay* sebesar 12 ns, maka IC dirancang dengan menggunakan nilai $K_N = 45 \mu A/V^2$ dan $K_P = 18 \mu A/V^2$ dengan nilai $C_L = 5 \text{ pF}$ maka diperoleh $t_{PLH} = 12 \text{ ns}$, $t_{PHL} = 12 \text{ ns}$, $t_r = 24 \text{ ns}$, $t_f = 24 \text{ ns}$ dan $t_{PD} = 12 \text{ ns}$.



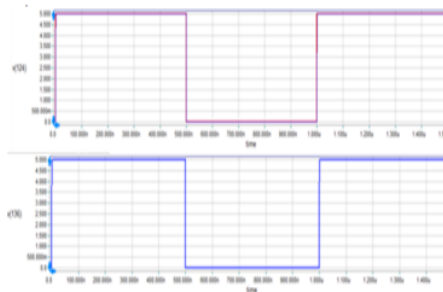
Gambar 6. Pengaruh Parameter Transkonduktansi dan C_L terhadap Propagation Delay time

Hasil simulasi *unit step* dengan menggunakan $C_L = 0,5 \text{ pF}$ pada kondisi MUX aktif menghasilkan $t_{PLH} = 0,359 \text{ ns}$, $t_r = 0,97 \text{ ns}$, $t_{PHL} = 0,11 \text{ ns}$, $t_f = 0,05 \text{ ns}$, $t_{PD} = 0,2345 \text{ ns}$ dan ditunjukkan dalam Gambar 8.



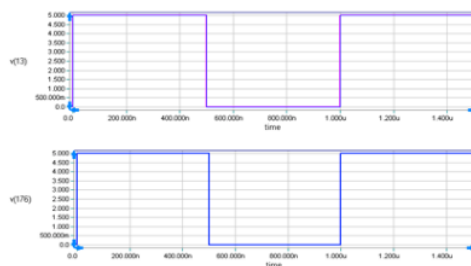
Gambar 8. Grafik Unit Step IC dengan C_L sebesar 0,5pF pada Kondisi MUX Aktif. Input Tegangan (Grafik Atas) dan Output Tegangan (Grafik Bawah) Hasil Simulasi. Sumbu X adalah Time(s); Sumbu Y adalah Tegangan (V).

Dengan nilai C_L yang sama yaitu 0,5 pF dengan kondisi DEMUX aktif menghasilkan $t_{PLH}=0,408$ ns, $t_r=0,765$ ns, $t_{PHL}=0,12$ ns, $t_f=0,05$ ns dan $t_{PD}=0,264$ ns yang ditunjukkan dalam Gambar 9.

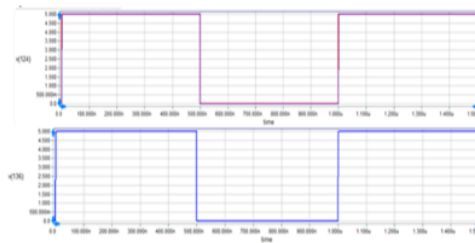


Gambar 9. Grafik Unit Step IC dengan C_L sebesar 0,5pF pada Kondisi DEMUX Aktif. Input Tegangan (Grafik Atas) dan Output Tegangan (Grafik Bawah) Hasil Simulasi. Sumbu X adalah Time(s); Sumbu Y adalah Tegangan (V).

Proses simulasi juga dilakukan dengan menggunakan $C_L = 1$ pF yang diuji dalam kondisi MUX aktif dan kondisi DEMUX aktif. Pada kondisi MUX aktif didapatkan $t_{PLH}=0,79$ ns, $t_r=1,58$ ns, $t_{PHL}=0,13$ ns, $t_f=1$ ns, $t_{PD}=0,46$ ns dan kondisi DEMUX aktif dengan $t_{PLH}=0,509$ ns, $t_r=1,501$ ns, $t_{PHL}=0,13$ ns, $t_f=1$ ns, $t_{PD}=0,3195$ ns yang ditunjukkan dalam Gambar 10 dan 11.

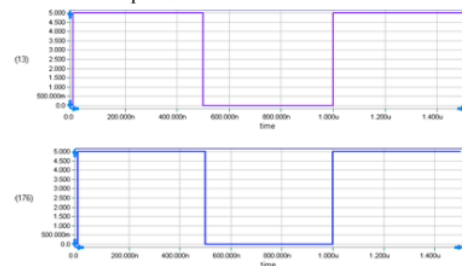


Gambar 10. Grafik Unit Step IC dengan C_L sebesar 1 pF pada Kondisi MUX Aktif. Input Tegangan (Grafik Atas) dan Output Tegangan (Grafik Bawah) Hasil Simulasi. Sumbu X adalah Time(s); Sumbu Y adalah Tegangan (V).

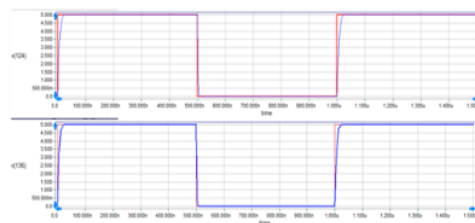


Gambar 11. Grafik Unit Step IC dengan C_L sebesar 1 pF pada Kondisi DEMUX Aktif. Input Tegangan (Grafik Atas) dan Output Tegangan (Grafik Bawah) Hasil Simulasi. Sumbu X adalah Time(s); Sumbu Y adalah Tegangan (V).

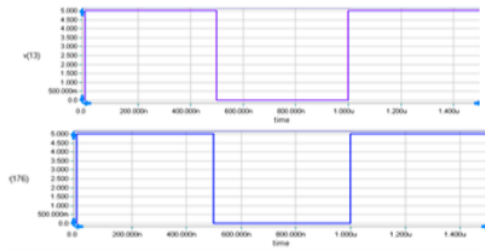
Selanjutnya proses simulasi dilanjutkan dengan nilai kapasitansi 10 pF, 15 pF dan 50 pF. Berikut ditampilkan untuk $C_L=10$ pF dengan masing-masing nilai $t_{PLH}=6,318$ ns, $t_r=11,056$ ns, $t_{PHL}=2$ ns, $t_f=5$ ns, $t_{PD}=4,159$ ns dan 15 pF diperoleh $t_{PLH}=7,318$ ns, $t_r=19,056$ ns, $t_{PHL}=3$ ns, $t_f=9$ ns, $t_{PD}=5,159$ ns pada kondisi MUX aktif. Serta pada kondisi DEMUX aktif untuk $C_L=10$ pF diperoleh $t_{PLH}=6,531$ ns, $t_r=13$ ns, $t_{PHL}=2$ ns, $t_f=5$ ns, $t_{PD}=4,2655$ ns, dan untuk $C_L=15$ pF diperoleh $t_{PLH}=7,531$ ns, $t_r=20,428$ ns, $t_{PHL}=3$ ns, $t_f=7$ ns, $t_{PD}=5,2655$ ns seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 12 sampai Gambar 15.



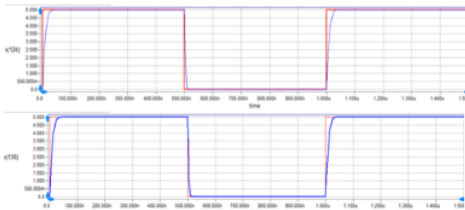
Gambar 12. Grafik Unit Step IC dengan C_L sebesar 10 pF pada Kondisi MUX Aktif. Input Tegangan (Grafik Atas) dan Output Tegangan (Grafik Bawah) Hasil Simulasi. Sumbu X adalah Time(s); Sumbu Y adalah Tegangan (V).



Gambar 13. Grafik Unit Step IC dengan C_L sebesar 10 pF pada Kondisi DEMUX Aktif. Input Tegangan (Grafik Atas) dan Output Tegangan (Grafik Bawah) Hasil Simulasi. Sumbu X adalah Time(s); Sumbu Y adalah Tegangan (V).



Gambar 14. Grafik Unit Step IC dengan C_L sebesar 15 pF pada Kondisi MUX Aktif. Input Tegangan (Grafik Atas) dan Output Tegangan (Grafik Bawah) Hasil Simulasi. Sumbu X adalah Time(s); Sumbu Y adalah Tegangan (V).

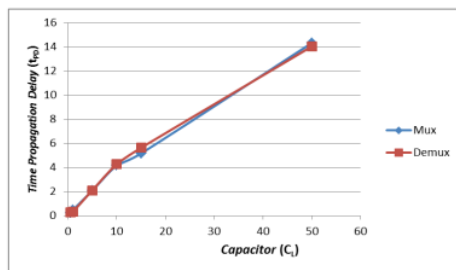


Gambar 15. Grafik Unit Step IC dengan C_L sebesar 15 pF pada Kondisi DEMUX Aktif. Input Tegangan (Grafik Atas) dan Output Tegangan (Grafik Bawah) Hasil Simulasi. Sumbu X adalah Time(s); Sumbu Y adalah Tegangan (V).

Grafik pada Gambar 7 merupakan hasil perhitungan manual *propagation delay* yang menunjukkan nilai *propagation delay* yang tinggi saat nilai C_L semakin besar. Begitu pula dengan proses simulasi yang menunjukkan nilai *propagation delay* yang besar ketika C_L yang diberikan juga besar. Seperti pada Gambar 16 berikut yang menunjukkan pengaruh besarnya nilai C_L terhadap besarnya *time propagation delay* pada kondisi MUX aktif yang ditunjukkan dengan warna biru dan kondisi DEMUX aktif yang ditunjukkan oleh grafik warna merah.

Pada kondisi MUX aktif dengan nilai $C_L = 0,5$ pF t_{PD} sebesar 0,2345 ns, $C_L = 1$ pF t_{PD} sebesar 0,46 ns, $C_L = 5$ pF t_{PD} sebesar 2,08 ns, $C_L = 10$ pF t_{PD} sebesar 4,159 ns, $C_L = 15$ pF t_{PD} sebesar 5,159 ns dan $C_L = 50$ pF t_{PD} sebesar 14,318 ns.

Sedangkan pada kondisi DEMUX aktif, nilai $C_L = 0,5$ pF t_{PD} sebesar 0,264 ns, $C_L = 1$ pF t_{PD} sebesar 0,3195 ns, $C_L = 5$ pF t_{PD} sebesar 2,1 ns, $C_L = 10$ pF t_{PD} sebesar 4,2655 ns, $C_L = 15$ pF t_{PD} sebesar 5,6255 ns dan $C_L = 50$ pF t_{PD} sebesar 14,0305 ns.

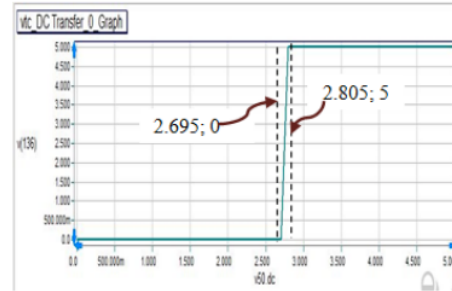


Gambar 16. Pengaruh besarnya C_L terhadap Propagation Delay time hasil simulasi

Dari hasil perhitungan manual dan simulasi yang didapatkan maka dipilih kapasitor dengan nilai yang tidak terlalu besar sehingga *propagation delay* yang didapatkan juga tidak terlalu besar. Semakin besar nilai kapasitor maka grafik *unit step* akan semakin menunjukkan hasil yang tidak simetris. Untuk itu kapasitor yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah C_L sebesar 5 pF karena memberikan grafik *unit step* yang simetris.

B. Noise Margin

Hasil simulasi VTC dengan menggunakan B^2Spice diperoleh hasil seperti ditunjukkan dalam Gambar 16.



Gambar 16. Grafik simulasi VTC

Dengan nilai $V_{OH} = 5$ V, $V_{IL} = 2,695$ V, $V_{IH} = 2,805$ V, $V_{OL} = 0$ V, $NM_H = 2,195$ V dan $NM_L = 2,695$ V.

C. Power Dissipation

Nilai disipasi daya perhitungan diperoleh dengan menggunakan Persamaan (1) dan (2). Dengan memasukkan nilai $t_{PD} = 12$ ns dan $C_L = 5$ pF maka didapatkan $P_D = 0,125$ mW dan $P_{DP} = 1,5$ pJ.

Hasil simulasi dengan menggunakan B^2Spice pada kondisi MUX aktif dengan nilai $t_{PD} = 2,08$ ns dan $C_L = 5$ pF adalah nilai $P_D = 0,125$ mW dan $P_{DP} = 0,26$ pJ.

Hasil simulasi dengan menggunakan B^2Spice pada kondisi DEMUX aktif dengan nilai $t_{PD} = 2,1$ ns dan $C_L = 5$ pF yaitu nilai $P_D = 0,125$ mW dan $P_{DP} = 0,2625$ pJ.

IV. KESIMPULAN

1. IC Multiplexer dan Demultiplexer 8 Bit HCMOS dirancang dengan nilai *propagation delay* 12 ns pada $C_L = 5$ pF sehingga didapatkan disipasi daya sebesar 0,125 mW.
2. Simulasi IC Multiplexer dan Demultiplexer 8 Bit HCMOS dengan menggunakan B^2Spice pada $C_L = 5$ pF menghasilkan nilai *propagation delay* yang lebih kecil daripada perhitungan yaitu sebesar 2,1 ns pada kondisi DEMUX aktif dan 2,08 ns pada kondisi MUX aktif.
3. Hasil perancangan dan simulasi IC Multiplexer dan Demultiplexer 8 Bit HCMOS dengan membandingkan pada nilai kapasitansi yang sama ($C_L = 15$ pF untuk TTL dan $C_L = 50$ pF untuk CMOS) diperoleh nilai *propagation delay* dan disipasi daya yang lebih baik daripada IC DM74LS151 ($t_{PD} = 12,5$ ns dan $P_{DP} = 375$ pJ) [9], IC

MC74HC151A ($t_{PD}=34$ ns dan $P_{DP}=17000$ pJ)
 [10], IC 74LS138 ($t_{PD}=20$ ns dan $P_{DP}=640$ pJ) [11]
 dan IC MC74HC138A ($t_{PD}=27$ ns dan $P_{DP}=13500$ pJ) [10].

REFERENSI

- [7] Darmawansyah, Tibyani. Mei 2008. Perancangan IC Decoder Peraga Matriks 7 x 5 CMOS menggunakan Program Mikrowin. Jurnal Sains dan Teknologi EMAS, Vol. 18, No. 2
- [8] 69 rer, Wohlmuth, Hnapp, Wurzer, Scholtz. November 2003. 40-Gb/s 2:1 Multiplexer and 1:2 Demultiplexer in 120-nm Standard CMOS. IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. 38, No. 11.
- [9] Darmawansyah, Julius, Stefanie. Mei 2012. Rangkaian Terpadu 4 Bit Multiplexer-Demultiplexer (Multidem) HCMOS 0.12 μ m dengan Kaskada Dua Tingkat. Proceeding EECCIS 2012.
- [10] Hodges, david A., Jackson, Horace G. 1987. *Analisis dan Desain Rangkaian Terpadu Digital*. Alih Bahasa Nasution, Sofyan. Jakarta: Erlangga.
- [11] Kang, Sung-Mo, Leblebici, Yusuf. 1996. *CMOS Digital Integrated Circuits : Analysis and Design Second Edition*. Singapore: McGraw-Hill Book (124)
- [12] Rabaey, jan M., dkk. 1999. *Digital Integrated Circuits a Design Perspective Second Edition*. New Jersey: Prentice Hall Electronics and VLSI series
- [13] Geiger, Randall L., dkk. 1990. *VLSI Design Techniques For Analog and Digital Circuits*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- [14] Rif'an, Moch. 2004. *Diklat Kuliah Pengukuran Besaran Elektrik*. Malang: Jurusan teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- [15] Fairchild Semiconductor. 2000. *ID Series Datasheet* . www.alldatasheet.com. Diakses tanggal 11 Maret 2014.
- [16] On Semiconductor. 2013. www.onsemi.com. Diakses tanggal 11 Maret 2014.
- [17] Motorola Semiconductor Corporation. 2000. www.datasheetcatalog.com. Diakses tanggal 11 Maret 2014.

Pendeteksi Keaslian Madu dengan Metode Pengukuran pH, Kadar Air, dan Pembiasan Cahaya

² Nurussa'adah
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
rossa@ub.ac.id

Abdul Rozaq Syamsuddin
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
rozaq.2808@gmail.com

Agung Handoko
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
agunghan.yusron@gmail.com

² Ioch. Ainun Azhar
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
ainunazhar@gmail.com

² Suraduita Mupasanta
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
suraduitamupasanta@gmail.com

Arini Sugiarti
Jurusan Kimia
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
alindni@gmail.com

Abstract— Madu adalah zat manis alami dihasilkan oleh lebah dengan bahan baku adalah lebah sebagai tenaga pemroses dan nektar yang merupakan senyawa kompleks berbentuk larutan gula dengan konsentrasi yang bervariasi. Madu seringkali digunakan masyarakat sebagai nutrisi penunjang kesehatan karena manfaatnya yang dapat berfungsi sebagai tonikum bagi jantung dan antibiotika yang bersifat desinfektan. Oleh karena manfaatnya yang penting bagi kesehatan, masyarakat seringkali kebingungan dalam menentukan madu asli. Dalam penelitian ini dirancang suatu sistem pendeteksi keaslian madu. Pendeteksi keaslian madu ini menggunakan metode pengukuran pH, kadar air, indeks bias, warna, dan suhu. Uji coba alat ini mengacu pada parameter dari standar nasional Indonesia. Hasil pengujian dan analisis alat pada uji madu didapatkan arah pembiasan laser ke madu adalah kiri, nilai pH adalah 4,3, dan kadar air masih belum memenuhi syarat keaslian SNI, namun telah sesuai dengan rentang nilai pada penelitian Achmadi S.

Keywords—madu; mikrokontroler; pH; kadar air; bias cahaya.

1. PENDAHULUAN

Madu adalah zat manis alami dihasilkan oleh lebah yang merupakan bahan baku utama dari nektar bunga. Untuk menghasilkan sebuah madu, diperlukan adanya 2 komponen. Pertama adalah serangga yakni lebah sebagai tenaga pemroses. Kedua adalah Nektar yang merupakan senyawa kompleks berbentuk larutan gula dengan konsentrasi yang bervariasi (Sarwono, B., 2011). Proses perubahan nektar menjadi madu dimulai ketika lebah menghisap nektar dengan belalainya. Kemudian nektar dibawa lebah dari lapangan ke sarang untuk disimpan. Nektar yang awalnya masih mempunyai kandungan air antara 80 - 40 persen, di evaporasikan oleh lebah di dalam sarang dengan mengibaskan sayap-sayapnya sekitar 26,400 kali per menit. Pengibasan sayap-sayap itu menghasilkan sirkulasi udara menjadi sangat baik, sehingga kadar air pada nektar ter evaporasikan, dan kandungan air turun menjadi sekitar 15 - 20 persen.

Dari sini sebuah nektar sudah dapat disebut sebagai madu dan akhirnya disimpan dalam sel madu yang berada di sarang.

Manusia telah menggunakan madu sejak ribuan tahun yang lalu. Bahkan telah diabadikan 190 faatnya dalam Al-Qur'an. Allah SWT berfirman, "Dari perut lebah itu keluar minuman (madu) yang bermacam-macam warnanya, di dalamnya terdapat obat yang menyembuhkan bagi manusia." (An Nahl 69). Selain berfungsi sebagai obat, madu juga seringkali dipakai sebagai pemanis alami, sumber energi, menjaga vitalitas, sumber vitamin dan mineral, serta antioksidan yang baik untuk tubuh.

Karena manfaat yang terkandung, dan tingginya permintaan dari konsumen akan madu. Terindikasi, beberapa oknum melakukan kecurangan untuk meningkatkan keuntungan pribadi dengan menghasilkan madu palsu.

Madu palsu merupakan gula yang diproduksi oleh tanaman dalam bentuk nektar, bukanlah madu kecuali bila gula-gula tersebut diolah di dalam perut lebah, dan telah mengalami banyak penurunan kandungan air. Madu-madu lain yang dibuat tanpa pertolongan lebah atau oleh gula selain nektar maka dianggap madu palsu atau madu buatan meskipun itu dalam komposisi yang kecil. (F.G. Winarno, 1982: 35).

Pemalsuan madu berdampak besar bagi kesehatan. Mengonsumsi madu yang terindikasi palsu dalam jangka panjang dapat menyebabkan diabetes, masalah pencernaan, dan dehidrasi yang diakibatkan oleh gula berlebih pada tubuh.

Pengujian terhadap keaslian madu memang tidaklah mudah, karena terkendala akan biaya uji laboratorium yang mahal, dan urgensi pengujian bagi masyarakat yang tak sepadan terhadap *sample* uji.

Di masyarakat, pengujian terhadap madu tidaklah berbasis ilmiah. Seperti menaruh madu di atas kertas koran untuk membuktikan kecepatan perembesan madu, telur mentah yang direndam dengan madu maka akan matang dengan cepat, korek yang telah di olesi madu masih dapat membakar, dan sebagainya.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dalam penelitian ini dirancang suatu sistem pendeteksi keaslian madu menggunakan parameter yang disesuaikan dengan standar nasional Indonesia tentang madu. Harapannya adalah dengan terciptanya alat ini, maka permasalahan yang timbul akibat kebingungan dalam pembuktian madu asli dapat diminimalisir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam tinjauan pustaka ini diterangkan mengenai standar nasional Indonesia mengenai **11** du mengacu pada penelitian Achmadi dalam “Analisis kimia produk lebah madu dan pelatihan staf laboratorium pusat perlebahan nasional Parung Panjang” dan dokumen SNI 01-3545-2004. Adapun metode deteksi alat yang digunakan pada madu diantaranya deteksi bias cahaya dengan laser dan fotodioda, deteksi air pada madu menggunakan sebuah batang aluminium berlapis, deteksi pH pada madu menggunakan batang aluminium murni, deteksi warna menggunakan sensor TCS230, dan deteksi suhu menggunakan sensor LM35.

Achmadi, dalam sebuah penelitian menulis bahwa persyaratan mutu madu berdasarkan pada rata-rata nilai dapat dilihat sebagai berikut,

Tabel 1. Rataan Komposisi Madu Indonesia

Komponen	Rataan	Kisaran
	%	
Air	22,9	16,6 – 37,0
Fruktosa	29,2	12,4 – 60,7
Glukosa	18,6	10,4 – 29,3
Sukrosa	12,9	0,0 – 53,0
Maltosa	12,9	0,0 – 53,0
Total Asam	43,1	11,3 – 62,2
Abu	1,1	0,1 – 14,7
Gula Kompleks	1,1	0,1 – 14,7
pH	3,9	3,4 – 5,3
Nilai Diastase	3,9	3,4 – 5,3

Sedangkan dalam dokumen SNI 01-3545-2004 dijelaskan bahwa untuk dapat dikatakan sebagai madu, terdapat acuan standar supaya madu yang telah beredar di masyarakat terjamin mutu dan kualitasnya. Acuan per **41** an SNI mengenai madu ini berdasar pada UU RI No. 7 tahun 1996 tentang pangan, UU RI No. 8 tahun 1999 tentang Perlindungan Konsumen, PP No. 69 tahun 1999 tentang label dan iklan pangan, dan Kumpulan Peraturan Perundang-undangan di bidang makanan tahun 1993-1994 Dit.Jen.POM, Dep.Kes.RI.

Sesuai dengan keputusan rapat consensus nasional tanggal 17 **59** esember 2002 di Jakarta, SNI menghasilkan persyaratan mutu madu sebagai berikut,

Tabel 2. Persyaratan Mutu Madu

Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
Aktifitas enzim diastase	DN	3
Hidroksimetilfurfural	mg/kg	50
Air, maks.	% b/b	22
Gula Pereduksi, min.	% b/b	65
Sukrosa, maks.	% b/b	5
Keasaman, maks.	ml NaOH1N/kg	50
Abu, maks.	% b/b	0,5
Cemaran arsen, maks.	mg/kg	0,5

Alat ini melakukan deteksi acuan pada kadar air, dan keasaman yang nilainya disesuaikan dengan uji laboratorium unsur kimia pada madu. Sedangkan arah bias optik laser menurut panduan uji laboratorium oleh *The Royal Society of Chemistry* (2009), pancaran arah bias laser ke madu akan menunjukkan ke arah kiri dengan porsi yang besar karena kandungan fruktosa > glukosa, begitu juga sebaliknya.

III. DASAR TEORI

Dalam dasar teori ini dibahas mengenai madu, mikrokontroler ATmega 32, sensor warna TCS230, sensor pH, sensor suhu LM35, sensor foto dioda, dan prinsip dasar sensor kadar air menggunakan jembatan wheatstone.

Madu

Menurut *Codex Standard for* **59** ney (1981), madu merupakan pemanis alami yang dihasilkan oleh lebah madu dari nektar bunga yang sedang mekar atau dari sekresi bagian tanaman selain bunga atau sekresi bagian tanaman selain bunga yang diisap oleh serangga, yang dikumpulkan lebah, diubah dan dicampur dengan zat-zat tertentu dari tubuh lebah sendiri, disimpan dan dibiarkan dalam sisiran madu hingga matang. Madu adalah bahan yang rasanya manis yang dihasilkan oleh lebah madu (*Apis mellifera*) dan berasal dari sari bunga atau dari cairan yang berasal dari bagian-bagian tanaman hidup yang dikumpulkan, diubah dan diikat dengan senyawa-senyawa tertentu oleh lebah dan disimpan dalam sarangnya.

Khasiat

Sonny J.R.K dalam jurnal biomedik yang berjudul *Khasiat madu pada penyembuhan luka kulit* menjelaskan bahwa pemberian madu topical efektif dalam mengontrol dan menghasilkan dasar luka bergranulasi bersih. Karena madu bersifat sebagai medium hyperosmolar dan mencegah pertumbuhan bakteri. Selain itu madu memiliki viskositas tinggi yang membentuk sawar fisik dan menciptakan lingkungan basah, sehingga mempercepat proses penyembuhan luka.

Lebih rinci dalam sebuah karya tulis ilmiah yang diterbitkan oleh Shazita A M dengan judul *Efek madu dalam proses epitelisasi luka bakar derajat dua dangkal* mendapatkan hasil secara klinis bahwa proses epitelisasi luka bakar yang dibalut madu berlangsung lebih cepat dibandingkan luka yang dibalut kasa tulle.

Dari 2 hasil karya ilmiah diatas, madu merupakan minuman dan makanan yang berkhasiat tinggi bagi tubuh. Sehingga di masyarakat timbul oknum yang memanfaatkan situasi dengan menghasilkan madu palsu.

Madu Palsu

dr. Adji Suranto menjelaskan dalam bukunya yang berjudul *Terapi Madu*, bahwa madu dikatakan palsu apabila tidak melewati lebah sebagai tenaga

pemroses dengan 3 macam jenis pemalsuan,

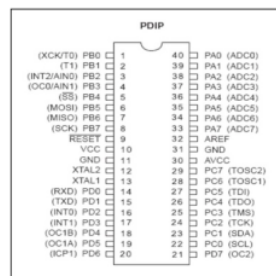
1. Pemalsuan jumlah, dilakukan dengan mengubah komposisi gula.
2. Pemalsuan mutu, dilakukan dengan mengubah kadar air dengan cara pemanasan.
3. Pemalsuan menyeluruh, madu yang diklaim asli namun merupakan produk olahan tanpa ada proses lebah sebagai tenaga pemroses.

Akibat Pemalsuan Madu

Akibat pemalsuan yang terjadi dalam madu, apabila pemalsuan terjadi pada jumlah, maka pengkonsumsian madu dalam jangka panjang dapat menyebabkan inflamasi kulit, dehidrasi, masalah pencernaan, dan diabetes. Sedangkan untuk pemalsuan mutu madu dengan cara pemanasan, menyebabkan enzim dalam madu rusak dan menyebabkan enzim yang dikonsumsi bersifat *carcinogen* atau racun. Dan pemalsuan menyeluruh tentu saja dapat mengakibatkan komplikasi penyakit dalam tubuh.

A. Mikrokontroler ATmega 32

Perangkat kontrol merupakan komponen yang paling penting dalam sistem dimana semua pengendalian proses, pengolahan data dan pengaturan dipusatkan. Salah satu perangkat yang dapat digunakan sebagai perangkat kontrol adalah *microcontroller* AVR. *Microcontroller* AVR memiliki arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) 8 bit. Dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bit word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus *clock*. Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi empat kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATMEGA, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Dilihat dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka bisa dikatakan hampir sama. Dalam penelitian ini, dipergunakan salah satu AVR produk Atmel, yaitu ATMEGA32 yang memiliki fasilitas lengkap dan didukung oleh *software* CodeVision_AVR 1.24.0 sebagai simulasi dan *compiler*. ATMEGA32 memiliki konfigurasi pin seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi pin ATMEGA32

B. Sensor Warna TCS230

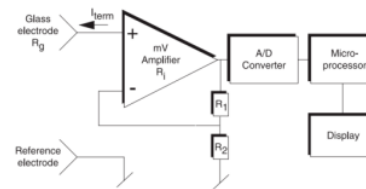
adalah IC pengkonversi warna cahaya ke nilai frekuensi. Ada dua komponen utama pembentuk ini, yaitu fotodioda dan pengkonversi arus ke frekuensi. Setiap warna bisa disusun dari warna dasar. Untuk cahaya, warna dasar penyusunnya adalah warna Merah, Hijau dan Biru, atau lebih dikenal dengan istilah RGB (Red-Green-Blue).



Gambar 3. Tampak sensor TCS230

C. Sensor pH

pH meter merupakan alat elektronik untuk melakukan pengukuran pH / derajat keasaman / kebasaaan. Pengukuran pada pH meter menggunakan perbandingan antara 2 elektroda dan mengkonversi selisih hasil perbandingan tersebut ke sebuah layar pH.



Gambar 4. Rangkaian Sederhana pH Meter.

Adapun penggunaan sensor pH dalam rangkaian ini memodifikasi penggunaan sensor pH tanah yang terbuat dari aluminium dengan memanfaatkan perbedaan potensial tegangan pada ground dan sisi luar aluminium. Sensor pH tanah ditunjukkan dalam gambar 5,

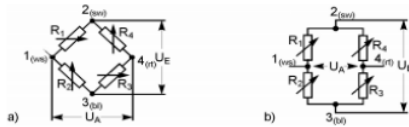


Gambar 5. Sensor pH tanah.

D. Sensor kadar air

Prinsip kerja sensor kadar air adalah menghitung perbedaan potensial tegangan pada titik-titiknya. Umumnya sensor pendeteksian air menggunakan jembatan wheatstone. "Jembatan wheatstone merupakan sebuah rangkaian elektronik yang digunakan untuk mengetahui nilai resistansi dari suatu resistor dengan metode perbandingan terhadap resistansi lain yang telah diketahui nilainya." (Hoffman, K. 1987: 1).

Rangkaian jembatan wheatstone ditunjukkan sebagai berikut,



Gambar 6. Rangkaian sederhana jembatan wheatstone.

Namun penggunaan sensor kadar air disini hampir sama dengan sensor pH yang menggunakan batang aluminium, hanya saja batang aluminium ini berlapis warna emas. Sensor kadar air ditunjukkan di gambar 7.

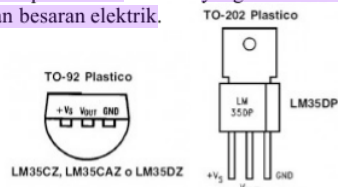


Gambar 7. Sensor kadar air tanah.

E. Sensor suhu LM35

51

IC LM35 merupakan sensor yang berfungsi untuk mengetahui suhu suatu objek atau ruangan dalam bentuk besaran elektrik, atau dapat juga di definisikan sebagai komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah perubahan suhu yang diterima dalam perubahan besaran elektrik.



Gambar 8 (Kiri) Tampak Bawah PIN IC LM35(CZ/CAZ/DZ)

Gambar 9 (Kanan) Tampilan Depan IC LM35(DP) Beserta PIN

7

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa sensor suhu IC LM35 memiliki 3 pin yang berfungsi sebagai sumber catu tegangan DC +5V, sebagai pin keluaran hasil penginderaan dalam bentuk perubahan tegangan DC pada Vout dan pin untuk Ground.

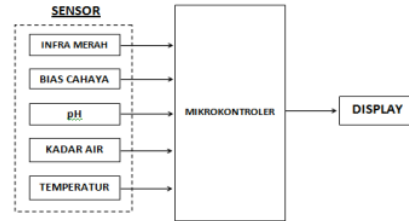
F. Sensor dioda

30

Foto dioda adalah sebuah dioda bipolar yang memakai kontak (*junction*) *base-collector* yang menjadi permukaan agar dapat menerima cahaya sehingga dapat digunakan menjadi sensor cahaya. Komponen ini akan mendeteksi cahaya yang dipancarkan oleh LED laser pada jarak tertentu.

IV. METODE PENELITIAN

Secara umum alat yang dibuat terdiri dari beberapa blok yaitu: sensor bias cahaya, pH, kadar air, infra merah, temperatur, mikrokontroler dan display unit.



Gambar 12. Diagram Blok Sistem Pendeteksi Keaslian Madu.

Cara kerja :

Alat ini bekerja secara sistematis. Dimulai ketika tombol *power* ditekan. Untuk melakukan uji keaslian madu, tutup uji yang tersambung dengan sensor kadar air dan sensor pH dibuka, *sample* madu dituang dalam wadah sampai batas maksimum kemudian ditutup.

Besaran fisis dan kimiawi dari *sample* madu yang ada dalam wadah tempat tusuk gigi diubah menjadi besaran elektrik oleh sensor. Kemudian besaran elektrik inilah yang menjadi data masukan mikrokontroler. Selanjutnya data masukan diolah oleh mikrokontroler untuk menentukan keaslian madu dengan cara membandingkan data masukan dengan data referensi yang sebelumnya telah dimasukkan ke dalam mikrokontroler.

Adapun besaran fisis dan kimiawi yang dideteksi oleh sensor untuk menentukan keaslian madu adalah arah bias, pH, dan kadar air dari madu. Selain ketiga besaran tersebut, dua besaran lain digunakan untuk membantu dalam penentuan data referensi yang dibandingkan dengan ketiga besaran yang digunakan sebagai data masukan, yakni warna madu untuk membantu menentukan data referensi arah bias madu dan temperatur madu untuk membantu menentukan data referensi kadar air.

Pendeteksian arah bias pada madu dilakukan oleh laser foto dioda mengarah ke satu titik tengah menembus wadah, diterima oleh foto dioda yang berada di sisi kiri atau kanan dari titik fokus. Ketika laser jatuh di salah satu foto dioda, sistem mengolah data dan disimpan.

Berlanjut proses perhitungan pH menggunakan pH meter tanah. Proses ini terjadi karena adanya perbedaan potensial tegangan pada ujung lempeng aluminium yang merupakan ground dan sisi luar atau pelapis dari aluminium. Perbedaan potensial ini dicatat oleh sistem sebagai pH madu dan disimpan dalam sistem.

Proses terakhir merupakan deteksi kadar air madu menggunakan batang aluminium dari pH meter tanah yang berlapis warna emas dan termometer sebagai parameter referensi. Sensor diletakkan, dan akan langsung mendeteksi beda potensial pada sensor. Beda potensial ini dicatat dalam sistem, dan termometer melakukan deteksi suhu untuk dilakukan kalibrasi sensor, nilai termometer dicatat dalam sistem dan keduanya dilakukan perhitungan baru kemudian disimpulkan.

Setelah kelima uji dilakukan dan sistem telah menyimpan hasil, didapat besar prosentase tingkat keaslian madu dan jenis madu yang di uji.

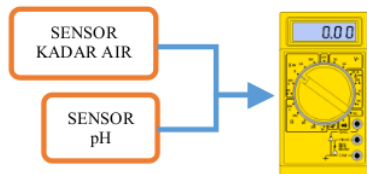
Optimasi Rancangan

Untuk melakukan optimalisasi dalam pelaksanaan pembuatan sistem pendeteksi ini, dilakukan uji laboratorium terhadap sample madu yang dijadikan acuan percobaan. Uji laboratorium ini dilakukan untuk mendapatkan nilai valid dari hasil rancangan dan analisis hasil.

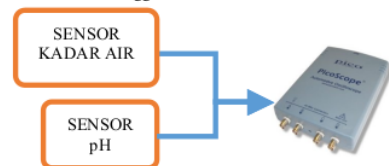
V. PENGUJIAN SISTEM

Pengujian sistem deteksi keaslian madu ini terdiri dari beberapa pengujian yaitu: pengujian sensor, uji laboratorium, dan uji cairan selain madu.

Pengujian sensor dilakukan dengan cara merangkai sensor pada objek madu, keluaran dari sensor dihubungkan ke picoscope dan komputer. Bagan pengujian ditunjukkan dalam Gambar 13-16.



Gambar 13. Pengujian sensor kadar air dan sensor pH menggunakan multimeter



Gambar 14. Pengujian sensor kadar air dan sensor pH menggunakan picoscope



Gambar 15. Pengujian warna



Gambar 16. Pengujian bias cahaya

Pengujian pertama, dilakukan uji data dari sensor kadar air dan pH yang dideteksi oleh multimeter, didapatkan respon nilai tegangan yang fluktuatif dan cenderung tidak dapat dipakai sebagai parameter hasil uji. Pengujian kedua pada sensor kadar air dan pH menggunakan picoscope, didapatkan nilai tegangan yang masih sedikit fluktuatif namun cenderung konstan, sehingga dapat dijadikan acuan. Nilai tegangan yang didapat pada masing-masing madu baik yang didapat dari sensor kadar air maupun pH kemudian dicocokkan dengan hasil uji lab untuk kadar air dan pH masing-masing madu. Dengan kata lain,

nilai tegangan yang didapat masing-masing madu dari sensor kadar air merupakan representasi nilai kadar air madu tersebut, begitu pula untuk pH madu yang nantinya akan diolah oleh mikrokontroler untuk ditampilkan menjadi besaran kadar air dan pH bukan lagi dalam bentuk tegangan.

Tabel 3. Data hasil pembacaan sensor pH dan kadar air dengan picoscope

No	Objek Madu	Kadar Air (V)	pH (V)	Keterangan
1	Bunga Kopi	2,6875	0,875	Nilai Min
		2,73438	0,925	Nilai Max
2	Bunga Mangga	2,625	0,85625	Nilai Min
		2,67188	0,90625	Nilai Max
3	Bunga Rambutan	2,125	0,83125	Nilai Min
		2,57813	0,85	Nilai Max
4	Bunga Kelengkeng	2,42188	0,78125	Nilai Min
		2,4844	0,8	Nilai Max
5	Bunga Kaiandra Red	2,5625	0,8125	Nilai Min
		2,59375	0,825	Nilai Max

Pengujian ketiga dilakukan dengan menggunakan bias cahaya pada sample madu. Uji bias pada madu telah berhasil didapatkan dengan cara melewatkan titik laser ke madu dan diterima oleh foto dioda.

Pengujian keempat adalah sensor warna memanfaatkan deteksi spectrum warna, nilai konversi spektrum ini dikalibrasi dengan melakukan pengukuran terhadap uji madu, dan air putih.

Pengujian kelima yakni uji laboratorium untuk mendeteksi keaslian madu yang di uji, uji laboratorium menggunakan parameter pH dan kadar air. Hasil dari uji laboratorium dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Data hasil uji laboratorium sensor pH dan kadar air

No	Objek Madu	Indeks Bias	Kadar Air (%)
1	Bunga Kopi	1,4767	24,6
2	Kaliandra Red	1,4801	23,2
3	Rambutan	1,4804	23,0
4	Mangga	1,4468	>25
5	Kelengkeng	1,4734	>25
6	Mangga + Air	1,3864	>25

VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengujian pada tabel 3 disimpan sebagai nilai masukan mikrokontroler. Sedangkan pada data pengujian tabel 4, dibandingkan dengan tabel SNI pada tabel 2 dan tabel rata-rata komposisi madu pada tabel 1 mengenai kadar air. Perbandingan ini dapat dilihat pada tabel 5.

No	Objek Madu	Kadar Air	SNI (max)	Penelitian Achmadi
1	Bunga Kopi	24,6	22	16,6-37,9
2	Kaliandra Red	23,2	22	16,6-37,9
3	Rambutan	23,0	22	16,6-37,9
4	Mangga	>25	22	16,6-37,9
5	Kelengkeng	>25	22	16,6-37,9
6	Mangga + Air	>25	22	16,6-37,9

Tabel 5. Perbandingan hasil kadar air antara uji laboratorium, SNI, dan penelitian achmadi

Dari tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa

hasil uji laboratorium terhadap kelima madu uji yang telah dilakukan untuk mengukur kadar air ternyata tidak memenuhi syarat SNI, namun sesuai dengan penelitian achmadi hasil uji lab yang telah dilakukan masih dapat dikatakan sebagai madu murni/madu asli. Sehingga perhitungan yang telah dilakukan untuk mencari nilai voltase minimum dan maksimum sebagai masukan pada mikrokontroller, apabila memakai acuan SNI maka nilai voltase masuk kedalam rentang nilai madu palsu, sedangkan apabila memakai acuan penelitian Achmadi maka rentang nilai voltase dapat dikatakan sebagai madu asli.

Pada pembiasan cahaya menggunakan laser, didapatkan bahwa semua sample madu telah sesuai dengan penelitian oleh the royal society of chemistry. Bahwa hasil yang keluar menunjukkan arah bias ke kiri atau negatif yang menunjukkan kandungan fruktosa > glukosa, dan hal ini mengindikasikan bahwa madu yang menjadi sample adalah asli.

Perhitungan pH, dilakukan menggunakan pH paper universal. pH yang bersifat kualitatif ini tidak sepenuhnya dapat dipakai sebagai acuan karena kurang presisi. Dari hasil uji yang telah dilakukan, nilai pH dari keseluruhan madu uji berada di rentang nilai 4. Dan mengacu pada SNI, maka rentang nilai pH madu asli berada pada 3,4-4,5. Dari hasil tersebut maka dikatakan 5 sample madu merupakan madu asli, dan perhitungan rentang voltase, dapat dipakai sebagai parameter madu asli.

Perlu menjadi catatan, bahwa pengujian sample madu bersifat relatif, karena hasil dari uji yang dilakukan pada kadar air mempunyai nilai kadar air yang melebihi nilai SNI. Pengujian ini dilakukan pada musim penghujan dan sebelum pengujian berlangsung madu uji sempat didiamkan beberapa saat di ruang terbuka untuk menghilangkan buih dan gas yang terjadi akibat tingginya enzim diastase pada madu.

VII. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisis didapatkan kesimpulan diantaranya:

1. Deteksi rentang nilai tegangan untuk kondisi kadar air dan pH mengacu pada hasil uji laboratorium yang telah dilakukan tetap dijadikan acuan karena menunjukkan keaslian pada rentang yang diijinkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Achmadi.
2. Deteksi bias cahaya telah menunjukkan bahwa ke-lima madu uji telah sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan arah bias ke kiri, berarti unsur fruktosa > glukosa, dan hal ini menandakan bahwa madu uji adalah asli.
3. Deteksi keaslian madu yang meliputi sensor kadar air, pH, bias cahaya, suhu, dan warna telah selesai dibuat.
4. Pengujian dan hasil uji pada alat ini memerlukan tindak lanjut mengacu pada iklim saat pengujian berlangsung.

- [18] Achmadi, S. 1991, *Analisis kimia produk lebah madu dan pelatihan staf laboratorium pusat perlembahan nasional Parung Panjang*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [19] ATMEL, 2006, Datasheet-Atmel, diakses 20 Maret 2014, (www.atmel.com/images/doc2545.pdf)
- [20] Codex Alimentarius Commission. 1981. Codex European Regional Standard for Honey.
- [21] Desai, U. B. Prof. 2004. *Infra Red Detectors*, diakses tanggal 20 Oktober 2013 (http://www.ee.iitb.ac.in/~esgroup/es_mtech04_sem/es_sem04_paper_04307417.pdf).
- [22] Suranto, Dr. Adji 2007, *Terapi Madu*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- [23] Hadiwiyolo, Soewedo, 1982, *Mengenal Hasil Tawon Madu*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [24] Hoffman, K. 1987. *Applying the Wheatstone Bridge Circuit*, diakses tanggal 16 Oktober 2013 (<http://www.hbm.com.pl/pdf/w1569.pdf>).
- [25] Kalangi, J.R. Sonny. "Khasiat Madu Pada Penyembuhan Luka Kulit". *Jurnal Biomedik* (2012):Vol.4 No.3.
- [26] Kusuma, Sri Agung Fitri, M.Si., Apt. 2009. "Karya Ilmiah : Pemeriksaan Kualitas Madu Komersial.", Universitas Padjadjaran Bandung.
- [27] Maun, S. 1999, *Pemalsuan Madu Dengan Sakarosa*. Universitas Trisakti, Jakarta.
- [28] Meterlab, 2001, *pH Theory and Practice*, Radiometer 75, Lytical, France.
- [29] Moulton, Alicia. 2009. *Potential Solution to Honeybee Decline*. *Hygienic Behavior*. (Online), (<http://utahpests.usu.edu/ipm/files/uploads/PPTDocs/09sh-UPIS-hygenic-bee-behavior-moulton.pdf> Diakses tanggal 20 Oktober 2013).
- [30] Najatullah, Shazita A. (2011) Efek madu dalam proses epitelisasi luka bakar derajat dua dangkal. Skripsi, Universitas Diponegoro.
- [31] Pobot, 2011, Datasheet-TCS230 Sirion, diakses 4 April 2014, (www.pobot.org/IMG/pdf/tcs230_datasheet.pdf)
- [32] Sarwono, B. 2011, *Kiat Mengatasi Permasalahan Praktis: Lebah Madu*. PT. Agromedia Pustaka, Jakarta.
- [33] The Royal Society of Chemistry. 2009. *What is Honey Made of? The optical Rotation of Natural Sugars*. RSC : Cambridge.
- [34] Texas Instrument, 2013, LM35 Precision Centrigade Temperature Sensor, diakses 8 April 2014, (www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf)
- [35] Warisno, 1996, *Budidaya Lebah Madu*. Kanisius, Yogyakarta.
- [36] Winarno, F.G. 1982, *Madu – Teknologi, Khasiat, dan Analisa*. Ghalila Indonesia, Jakarta Timur.

Rancang Bangun Canting Elektronik dengan Keluaran Lilin Terkontrol

A¹⁰ Ainun Akbar

Teknik Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, Indonesia

adam_enun@yahoo.com

I¹⁰ko Purwanto

Teknik Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, Indonesia

djoko@ee.its.ac.id

Abstrak – Canting adalah salah satu alat yang digunakan untuk melukis batik, canting sendiri terdiri dari tangkai, badan canting dan carat. Kegunaan dari canting adalah sebagai alat penghantar “malam” atau lilin terhadap kain yang akan dibatik. Dalam proses membatik hal yang perlu diperhatikan adalah temperatur dari lilin karena lilin perlu dipanaskan untuk merubah bentuk dari padatan ke bentuk cairan supaya dapat melekat pada kain. Penelitian ini akan ditekankan pada kontrol suhu lilin pada canting. Proses pemanasan lilin akan dilakukan pada bodi dari canting yang kemudian akan diukur tingkat panas dari lilin yang telah dipanaskan sehingga panas dari lilin dapat dikontrol. Dari penelitian ini didapatkan keluaran canting elektronik dengan ketebalan 0.9 mm pada suhu 70 °C dan 10 cm/det pada kecepatan linear canting elektronik. Ketebalan akan dipengaruhi oleh temperature pada lilin pada bodi canting.

Kata kunci—*Canting Elektronik; Meja Kartesian; Kontrol Suhu*

I. PENDAHULUAN

Batik sebagai warisan asli budaya dari Indonesia, mempunyai banyak motif berdasarkan pola yang pasti. Batik tidak lepas dari canting yaitu alat yang digunakan untuk menggambar batik pada kain.

Untuk dapat menggunakan canting biasanya pembatik perlu memanaskan lilin pada media lain seperti wajan yang dipanasi oleh kompor, dan setelah dirasa cukup panas maka lilin akan dimasukkan pada canting yang kemudian pembatik dapat mulai menggunakan canting.

Canting elektronik telah banyak beredar dipasaran tetapi dalam komponen canting elektronik tersebut hanya digunakan pemanas yang diletakkan pada bodi canting sehingga suhu yang dihasilkan akan meningkat seiring lama waktu canting digunakan. Hal ini tentu tidak diinginkan karena suhu lilin yang dipanaskan harus berada sekitar 70 °C. Canting elektronik yang ideal dapat menjaga suhu lilin berada sekitar 70 °C untuk memudahkan pembatik dalam membatik sehingga pembatik tidak perlu menjaga panas lilin.

Pada umumnya canting mempunyai bodi yang kecil sehingga pembatik memerlukan pengisian ulang malam panas pada canting untuk dapat membatik dengan banyak. Jika bodi canting dibuat besar maka lilin akan menjadi berat dan lilin akan keluar dengan sendirinya tanpa terjadi sentuhan terhadap media yang akan dibatik.

Oleh karena itu, akan dibangun suatu canting elektronik yang dapat menjaga panas lilin sekitar 70°C. canting elektronik ini terdiri dari bodi canting, tangkai canting dan carat. Pemanas dan sensor suhu akan diletakkan pada bodi canting dan akan ditempatkan katup pada carat sehingga lilin panas akan keluar jika katup pada carat tertekan.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain dan mengaplikasikan canting elektronik yang memiliki keluaran lilin sesuai dengan keinginan. Sehingga diharapkan para pengrajin batik dapat melukis batik dengan efisien tanpa perlu mengkondisikan suhu lilin yang terdapat pada bodi canting.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang telah dilakukan untuk mengaplikasikan canting elektronik antara lain dengan memanaskan bodi canting kemudian menggoreskan canting pada kain. Perancangan canting elektronik tersebut dilakukan untuk mendapatkan canting yang juga sebagai tempat pemanas lilin sehingga pembatik tidak perlu memanaskan lilin pada media lain. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Muntaha terdapat keterbatasan yaitu canting elektronik berbentuk besar pada bodi canting dan bibir canting tidak memiliki katup sehingga lilin akan langsung keluar dari bibir canting jika suhu lilin meningkat selain itu belum tersedianya kontrol yang memadai untuk canting, sehingga keluaran dari canting tidak sesuai dengan harapan[1]. Dari hasil yang dilakukan suhu lilin pada bodi canting tidak dapat konstan namun masih terdapat $error \pm 10 \%$.

Pada penelitian lain telah dilakukan penelitian tentang robot penggambar yang mengontrol hasil dari gambar robot. Gambar yang dihasilkan oleh robot akan dikoreksi sehingga robot mampu tetap berada pada alur gambar yang diinginkan [2]. Pada penelitian ini robot menggunakan pena sebagai media untuk melukis atau membentuk suatu gambar. Dari hasil yang telah dilakukan resolusi citra yang dihasilkan oleh robot penggambar adalah 0.2 cm sedangkan pada setiap pixel mewakili 0.2 cm dengan $error$ 0.01 cm.

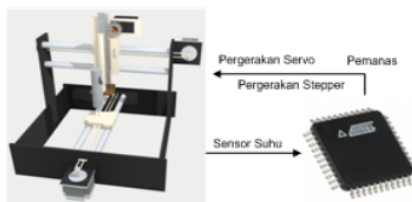
Perkembangan tentang penelitian kontrol dan canting. Dalam beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang robot penggambar yang menggunakan bolpoin atau kuas sebagai aktuator untuk menggambar dan tidak mempunyai umpan balik untuk sistem, sehingga robot hanya bertugas menggambar berdasarkan *trajectory* yang telah

dihasilkan oleh komputer. Namun pada penelitian, telah dilakukan robot penggambar menggunakan visual sebagai umpan balik [3].

Pada penelitian ini dilakukan perancangan cacing elektronik dengan desain yang lebih kecil pada bodi cacing dan terdapat katup carat pada bibir cacing sehingga lilin hanya akan dapat keluar jika mendapat tekanan. Kontrol suhu untuk keluaran lilin yang tidak lepas dari beberapa konsep dasar kontrol suhu untuk mengatur ketebalan garis. Perancangan cacing elektronik akan disesuaikan sebagaimana cacing tradisional digunakan. Pemanasan lilin akan dilakukan pada bodi cacing. Pemanasan ini mengadaptasi dari penggunaan cacing tradisional yang memerlukan kompor sebagai pemanas lilin, agar lilin dapat menempel pada kain dengan baik. Jika suhu lilin terlalu panas akan dilakukan menonaktifkan pemanas.

III. METODA

Pada tahap pembuatan desain cacing elektronik terdiri atas beberapa proses diantaranya : pembuatan cacing dengan penempatan posisi dari pemanas dan sensor suhu, pembuatan rangkaian kontrol heater. Sebagai media pengujian cacing elektronik maka akan dirancang meja kartesian yang terdiri dari tiga axis yaitu dua axis untuk pergerakan kain dan satu axis untuk naik turunnya cacing elektronik. Meja kartesian ini terdiri dari dua motor stepper dan satu motor servo sebagai penggerakanya.

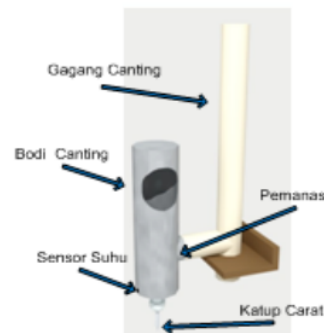


Gambar 9. Diagram Blok Sistem

A. Desain Cacing Elektronik

Pembuatan mekanik cacing elektronik adalah merangkai cacing yang terdapat pemanas, sensor suhu, bodi cacing, katup carat. Desain mekanik cacing ini dapat dilihat pada Gambar 2. Setelah dilakukannya pembuatan mekanik cacing maka hal selanjutnya adalah membuat rangkaian pendukung untuk pemanas lilin. Pemanas lilin ini diharapkan dapat mempunyai tingkat kepanasan yang dapat diatur. Di pasaran pada umumnya pemanas hanya mempunyai kondisi nyala dan mati sehingga diperlukan pengaturan tingkat kepanasan pada malam lilin. Setelah didapatkan pemanas yang dapat diatur tingkat kepanasannya maka selanjutnya adalah pembuatan rangkaian sensor suhu. Sensor suhu ini memiliki keluaran berupa tegangan yang dapat diukur oleh volt meter namun pada perancangan ini sensor suhu akan langsung terintegrasi pada mikrokontroler. Sensor

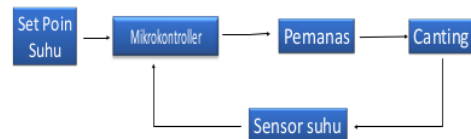
suhu sendiri diperlukan untuk mendeteksi tingkat kepanasan dari lilin yang terdapat pada bodi cacing.



Gambar 10. Desain Cacing Elektronik

B. Pengaturan Suhu Cacing

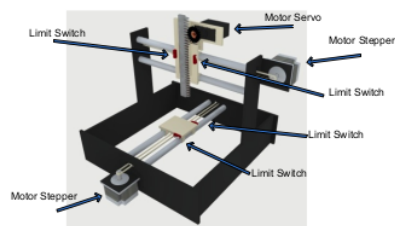
Pengaturan Suhu pada cacing dilakukan dengan cara menyalakan atau mematikan pemanas dengan cara memberikan tegangan 220V pada pemanas. Pemberian tegangan dilakukan oleh mikrokontroler melalui MOC3041. Dengan cara ini mikrokontroler dapat menyalakan atau mematikan pemanas. Eksekusi nyala atau matinya pemanas dilakukan berdasarkan suhu yang didapatkan mikrokontroler melalui sensor suhu LM35. Flowchart pengaturan suhu cacing dapat dilihat pada gambar 3. Mikrokontroler mempunyai setpoint suhu untuk dipenuhi maka jika suhu masih mempunyai nilai dibawah setpoint maka mikrokontroler akan menyalakan pemanas lain jika nilai setpoint dari suhu telah terpenuhi maka mikrokontroler akan mematikan pemanas.



Gambar 11. Flowchart Pengaturan Suhu Cacing

C. Desain Meja Kartesian

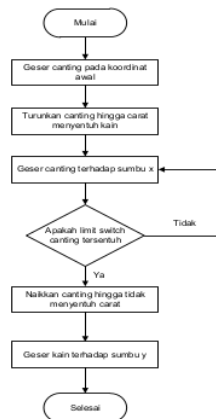
Pembuatan meja kartesian dilakukan dengan daerah operasi meja adalah 25 x 25 cm yang menggunakan dua motor stepper dan satu motor servo dan dilengkapi empat limit switch sedangkan ukuran dari meja kartesian ini adalah 32cm x 32cm x 32 cm. meja kartesian sendiri dirancang sebagai tempat cacing elektronik beroperasi.



Gambar 12. Desain Meja Kartesian

D. Pengaturan Meja Kartesian

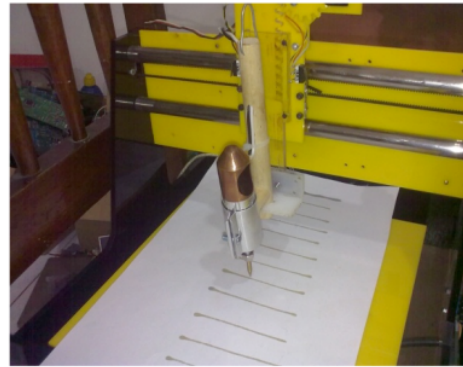
Pergerakan meja kartesian dikontrol oleh mikrokontroler. Mikrokontroler akan menjalankan dua motor stepper dan satu motor servo. Limit switch digunakan untuk mendeteksi apakah kartesian telah menemui batas dari operasional meja. Dua motor stepper digunakan untuk pergerakan koordinat (x,y) dan motor servo digunakan untuk pergerakan koordinat z. Dalam penggunaannya meja kartesian digunakan untuk menggoreskan canting elektronik pada kain. Pada canting elektronik ini meja kartesian menggoreskan canting pada sumbu x. Meja kartesian akan bergerak pada sumbu x hingga limit switch tersentuh kemudian motor servo berputar untuk mengangkat canting elektronik dan stepper akan mengembalikan canting elektronik pada nilai awal dan stepper sumbu y akan bergerak untuk mengganti kain atau menyediakan baris kosong untuk canting.



Gambar 5. Flowchart Meja Kartesian

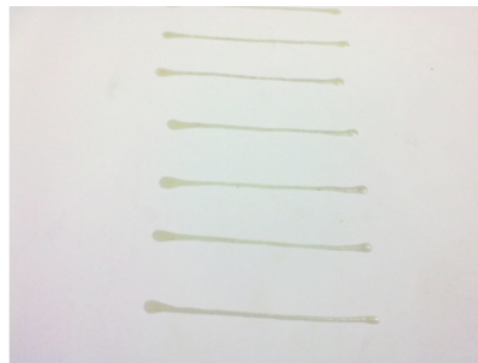
IV. HASIL PENGUJIAN

Dengan merealisasikan canting elektronik dengan menggunakan metoda yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka didapatkan hasil pengujian. Pengujian dilakukan dengan menggerakkan meja kartesian untuk menggoreskan canting elektronik dengan suhu terkontrol pada kertas hvs. Setpoint suhu akan dicoba berbeda pada tiap percobaannya dan dilakukan pengukuran ketebalan hasil goresan tiap percobaan.



Gambar 6. Pengujian Canting Elektronik

Pergerakan canting elektronik terhadap sumbu x bergerak dari kanan ke kiri. Kanan adalah koordinat awal dari pergerakan canting elektronik. Pada koordinat awal servo akan bergerak kebawah hingga carat canting menyentuh kertas sehingga katup akan terbuka dan lilin mulai keluar pada kertas. Canting elektronik akan terus bergerak ke kiri hingga limit switch tersentuh yang kemudian servo akan bergerak mengangkat canting sehingga katup pada carat canting akan tertutup dan stepper canting akan bergerak kekanan hingga kembali pada nilai awal kemudian stepper pada sumbu y akan bergerak untuk menggeser kertas sehingga terdapat ruang untuk canting kembali menggaris. Percobaan dilakukan dengan tingkat suhu yang berbeda yaitu 60 °C, 70 °C dan 80 °C.



Gambar 7. Hasil Goresan Canting Elektronik

Setelah dilakukan pengujian terhadap setpoint suhu yang berbeda maka didapatkan data ketebalan hasil seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan Template Matching dan Optical Flow

Setpoint	Ketebalan hasil (mm)	Kecepatan linear canting (cm/sec)
60 °C	0.7	10
70 °C	0.9	10
90 °C	1.1	10

V. PENUTUP

Pada hasil pengujian didapatkan bahwa tiap setpoin suhu yang diberikan mempengaruhi ketebalan goresan canting terhadap kertas, sehingga didapatkan bahwa suhu berpengaruh pada ketebalan keluaran lilin dan semakin tinggi suhu maka semakin tebal keluaran lilin pada kertas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muntaha, Tito S. "Rancang Bangun Canting Listrik dengan Pergerakan Kartesian". Tugas akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2012.
- [2] Anggraeny, Ratih., Abadi, Imam., Iskandariato, Fitri A. "Rancang Bangun Robot Penggambar Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535". Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [3] Ruchanurucks, Mitu., Kudoh, Shunsuke., Ogawara, Koichi., Shiratori, Takaaki dan Ikeuchi, Sushii. "Robot Painter : From Object to Trajectory". *Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, San Diego, CA, USA, 2007.
- [4] Darjat., Syahadi Mohamad., Setiawan, Iwan. "Aplikasi Kontrol Proporsional Integral Berbasis Mikrokontroler ATmega8535 untuk Pengaturan Suhu Pada Alat Pengering Kertas". Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen, 2008.
- [5] Santoso, Renata. "Proses Inovasi Motif Batik Semarangan di Batik Semarang". Tugas akhir Universitas Katolik Soegijapranata, 2011.
- [6] Sarunggalo, Zita L., Soekarto, Soewarno T., Budijanto, Slamet. "Kajian Penurunan Titik Leleh Lebah (Apis Cerana) Dalam Pembuatan Margarin Oles Rendah Kalori". *Jurnal teknologi industry pangan*, vol. XXIII, No 2, 2002.

Sistem Instrumentasi Sinyal Phonocardiography untuk Analisa Dinamika Jantung

Eko Agus Suprayitno
Bidang Keahlian Teknik Elektronika
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Sidoarjo, Indonesia
Email : ecomaw87@gmail.com

Izza Anshory
Bidang Keahlian Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Sidoarjo, Indonesia
Email : anshory1@gmail.com

Abstract—Klasifikasi sinyal suara jantung (*Phonocardiography*) sangat penting untuk mengetahui penyakit jantung yang seringkali datang secara tiba-tiba dan sering jadi penyebab kematian. Untuk mendukung pentingnya klasifikasi sinyal suara jantung, maka hasil beberapa pekerjaan pendahuluan terkait pendeteksian sinyal suara jantung (*Phonocardiography*) yang menggunakan instrumentasi PCG dihasilkan informasi bahwa hasil uji *Pre-Amp Mic Condenser* yang terpasang pada stetoskop Riester sudah berfungsi dengan baik. Untuk *Low Pass Filter* Analog Orde 4 dengan frekuensi *cutoff* 500 Hz penguatan -3 dB terjadi di area frekuensi 400 Hz, yaitu (0.737 ± 0.032) kali. Untuk *High Pass Filter* Analog Orde 4 dengan frekuensi *cutoff* 20 Hz penguatan -3 dB terjadi di area frekuensi 20 Hz, yaitu (0.660 ± 0.010) kali. Sedangkan hasil uji *Notch Filter* dihasilkan tegangan output (*Vout*) terkecil di frekuensi 50 Hz dengan besar *Vout* (0.14 ± 0.00) volt dengan *Quality factor* (*Q*) sebesar 6.28. Analisis sinyal suara jantung (PCG) dengan menggunakan DFT pada pasien jantung normal yang berjenis kelamin laki-laki, usia 33 tahun, berat badan 63 Kg dan tinggi badan 169 cm dengan banyaknya perekaman 4 kali memberikan informasi bahwa pada sinyal jantung, area frekuensinya di antara 20 Hz sampai 150 Hz. Penelitian selanjutnya akan dikembangkan lagi pada *Multimodal Cardiac Analysis*.

Keywords—Signal *Phonocardiography*; DFT

I. PENDAHULUAN

Penyakit jantung merupakan penyakit yang membahayakan. Penyakit jantung di Indonesia menempati urutan pertama sebagai penyebab kematian. Salah satu metode pendeteksian awal penyakit jantung yang berkaitan dengan ketidaknormalan katup-katup jantung dapat dilakukan dengan teknik auskultasi. Klasifikasi suara jantung (*Phonocardiography*) merupakan hal penting dilakukan untuk mengetahui penyakit jantung yang di sebabkan membuka dan menutupnya katup-katup jantung secara tidak normal. Klasifikasi sinyal *Phonocardiography* (PCG) sangat penting, hal tersebut didukung oleh banyaknya penelitian yang sudah dilakukan, salah satunya klasifikasi dan analisis dengan metode CSCW (*cardiac sound characteristic waveform*) dengan bantuan grafik kurva sederhana terhadap sinyal PCG normal dan tidak normal. Namun 20 hasil analisa sinyal PCG tidak normal dalam mengklasifikasikan jantung normal dan tidak normal masih terjadi satu kesalahan penggolongan. Hasilnya sinyal PCG tidak normal diakui sebagai insufisiensi aorta pada pemeriksaan

klinis, tetapi pada penelitian tersebut dibedakan sebagai suara jantung normal [1]. Penelitian berikutnya melalui diagnosa kelainan PCG melalui auskultasi menggunakan stetoskop, tetapi dalam mendapatkan diagnosa suara jantung normal dan tidak normal yang akurat merupakan suatu keterampilan yang sulit dan ketepatan hasil analisisnya sangat bergantung pada kepekaan telinga dan tingkat pengalaman seorang ahli dalam membedakan satu kelainan dengan kelainan yang lain. Dibutuhkan waktu bertahun-tahun untuk memperoleh dan memfilter suara yang didengar melalui stetoskop [6].

Untuk mendukung pentingnya klasifikasi sinyal suara jantung, pada penelitian ini akan dilakukan beberapa pekerjaan pendahuluan pendeteksian sinyal suara jantung (*Phonocardiography*), yaitu membuat instrumentasi *Phonocardiography* untuk mendeteksi sinyal suara jantung dan menampilkan sinyalnya. Bagian ini memerlukan informasi penting seperti posisi perekaman suara jantung pada tubuh di empat posisi yaitu *Pulmonari Arteri* (PA), *Right Ventricle* (RV), *Left Ventricle* (LV), dan *Aortic* (AO) untuk mengasalkan sinyal *Phonocardiography* (PCG) dan pengetahuan rangkaian elektronik untuk mendisain instrumentasi PCG. Sinyal yang dihasilkan diolah dengan metode *Discrete Fourier Transform* (DFT) untuk mendapatkan informasi area nilai frekuensi yang dominan pada sinyal PCG.

II. SUARA JANTUNG

Jantung merupakan organ vital tubuh yang terdiri dari empat *compartment* yaitu atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan dan ventrikel kiri. Jantung mempunyai empat buah katup yang bekerja secara bergantian, diantaranya katup *Tricuspid*, katup *Mitral*, katup *Pulmonary* dan katup *Aortic*.



Gambar. 1. Posisi perekaman suara jantung.

4
Membuka dan menutupnya katup jantung terjadi akibat perbedaan tekanan diruang-ruang jantung sewaktu kontraksi dan relaksasi atrium dan ventrikel. Peristiwa mekanik yang terjadi pada jantung antara lain *Cardiac cycle* yang terjadi selama 0,8 detik mengacu pada semua kejadian yang berhubungan dengan aliran darah melalui jantung, *Systole* (Kontraksi 4 tot jantung), dan *Diastole* (relaksasi otot jantung). Suara jantung (*Phonocardiography*) adalah sinyal audio frekuensi rendah yang terjadi karena membuka dan menutupnya katup yang ada pada jantung, sehingga menimbulkan vibrasi yang bersamaan dengan vibrasi darah yang ada di sekitarnya.

Phonocardiography (PCG) terbagi menjadi empat bagian yaitu suara jantung pertama (S1) merupakan bunyi yang menyertai penutupan katup atrioventrikular yaitu katup *mitral* dan katup *trikuspidal*, Suara jantung kedua (S2) terjadi karena penutupan katup *semilunar* (yaitu katup *aorta* dan katub *pulmonal*) secara tiba-tiba. Suara jantung ketiga (S3) merupakan bunyi ventrikel kiri dan terbaikk didengar di apeks jantung dan suara jantung ke empat (S4) merupakan suatu bunyi dengan nada rendah, dengan frekuensi berkisar antara 50–70 Hz. Posisi perekaman suara jantung pada tubuh (seperti ditunjukkan 4 la Gambar.1) dapat dilakukan di empat posisi yaitu *Pulmonari Arteri* (PA), *Right Ventricle* (RV), *Left Ventricle* (LV), dan *Aortic* (AO).

III. DISCRETE FOURIER TRANSFORM (DFT)

Untuk dapat menganalisis kedalam domain frekuensi, sinyal terlebih dahulu harus ditransformasi dengan menggunakan *Transformasi Fourier*. *Transformasi Fourier* (TF) direpresentasikan dalam Persamaan 1. TF berjalan sesuai dengan translasi suatu fungsi dalam domain waktu kedalam fungsi dari domain frekuensi, jadi sinyal yang dihasilkan dan direpresentasikan dalam koordinat sumbu x (waktu) dan sumbu y (besar amplitudonya) sebagaimana Gambar 13 di translasikan dalam domain frekuensi yang direpresentasikan dalam koordinat sumbu x (frekuensi) dan sumbu y (besar magnitudo) sebagaimana Gambar 14. Hasil perhitungan dari TF dapat dijadikan bahan dalam menganalisis sinyal, karena nilai-nilai dari koefisien Fourier merupakan hasil dari frekuensi-frekuensi sinus dan cosinus yang digunakan dalam TF. Untuk data diskrit, TF disebut sebagai *Discrete Fourier Transform* (DFT). DFT direpresentasikan dalam matematis, seperti pada Persamaan 2.

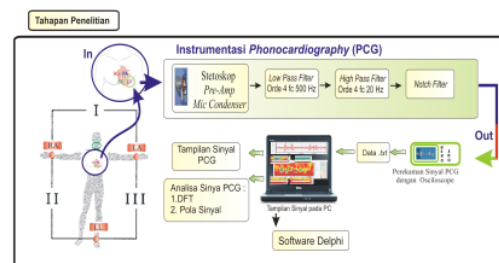
$$F\{x(t)\} = X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

$$DFT\{x(n)\} = X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad (2)$$

IV. METODE

Gambar 2 merupakan diagram blok pembuatan instrumentasi PCG beserta analisa sinyal PCG dengan DFT. Sinyal PCG, direkam secara langsung pada

pasien laki-laki usia 33 tahun dengan berat badan 63 kg dan tinggi badan 169 cm. Posisi perekaman sinyal PCG dilakukan pada daerah *Pulmonari Arteri* (PA), *Right Ventricle* (RV), *Left Ventricle* (LV), dan *Aortic* (AO). Perekaman sinyal PCG dilakukan secara langsung pada pasien menggunakan stetoskop Riester yang terhubung *Pre-Amp* 4 *Mic Condenser* dan pengkondisian sinyal berupa *Low Pass Filter* Analog orde 4 dengan frekuensi *cutoff* 500 Hz dan *High Pass filter* analog orde 4 dengan frekuensi *cutoff* 20 Hz serta *Notch Filter* dengan frekuensi *cutoff* 50 Hz untuk menghilangkan noise jala-jala 50 Hz pada alat ukur maupun instrumentasi PCG. Kemudian sinyal dari pengkondisian sinyal akan diteruskan menuju Osiloskop Agilent tipe 54621A untuk ditampilkan pola sinyalnya yang kemudian direkam untuk mendapatkan data teks (*.txt*). Data teks ini yang akan diolah, ditampilkan kembali pola sinyalnya dan dianalisis dengan DFT berbasis software Borland Delphi untuk mendapatkan kesimpulan sementara kondisi jantung pasien. Osiloskop Agilent tipe 54621A memiliki frekuensi maksimum 60 MHz dan kemampuan ADC maksimum 200 MSa/s. Data teks yang dihasilkan kemudian diolah menggunakan *Discrete Fourier Transform* (DFT) melalui Program Delphi 7 untuk didapatkan informasi frekuensi.

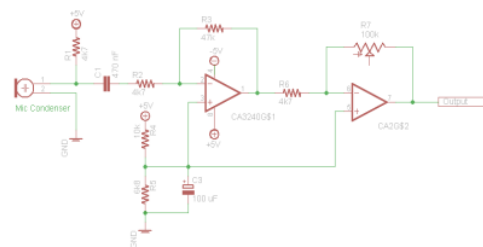


Gambar 2. Diagram blok pembuatan instrumentasi PCG beserta analisa sinyal PCG dengan DFT

A. Pembuatan Instrumentasi *Phonocardiography* (PCG).

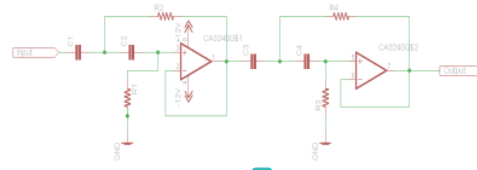
➤ Perancangan *Stetoskop Pre-Amp Mic Condenser*.

Mic Condenser pada penelitian ini digunakan untuk mengonversi suara yang di timbulkan jantung menjadi informasi sinyal tegangan.



Gambar 3. Rangkaian *Pre-Amp Mic Condenser*

Rangkaian *Pre-Amp Mic Condenser* sebagaimana pada Gambar 3 digunakan untuk menguatkan sinyal yang ditimbulkan *Mic Condenser*. Rangkaian ini yang akan dihubungkan dengan stetoskop dalam proses merekam suara jantung. Untuk IC yang digunakan pada rangkaian ini adalah IC CA3240 dengan tegangan masukan sebesar 5 volt, dan stetoskop yang digunakan Stetoskop Riester



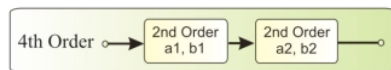
Gambar 7. Rangkaian *High Pass Filter* orde 4 frekuensi *cutoff* 20 Hz.

➤ Perancangan Rangkaian *Low Pass Filter* Orde 4 frekuensi *Cutoff* 500 Hz

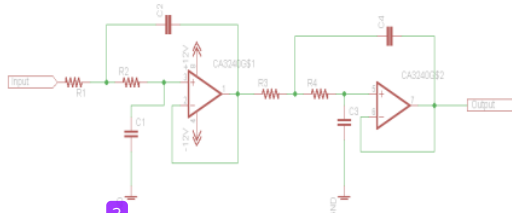
Rangkaian *Low Pass Filter* orde 4 dibentuk dari 2 buah rangkaian *Low Pass Filter* orde 2 *Sallen-Key Topology* sebagaimana Gambar 4 (3) rangkaiannya ditunjukkan oleh Gambar 5. Nilai $a_1 = 1.8478$; $b_1 = 1.0000$; $a_2 = 0.7654$ dan $b_2 = 1.0000$ (3) merupakan koefisien *Butterworth* untuk orde 4. *Low Pass Filter* orde 2 pertama dapat dihitung dengan (3) persamaan (3) dan (4) dengan nilai $C_1 = 47$ nF. *Low Pass Filter* orde 2 kedua juga dihitung menggunakan persamaan (3) dan (4) dengan mengganti R_1 menjadi R_3 ; R_2 menjadi R_4 ; C_1 menjadi C_3 ; C_2 menjadi C_4 ; a_1 menjadi a_2 ; b_1 menjadi b_2 .

$$R_{1,2} = \frac{a_1 C_2 \mp \sqrt{a_1^2 C_2^2 - 4 b_1 C_1 C_2}}{4 \pi f_c C_1 C_2} \quad (3)$$

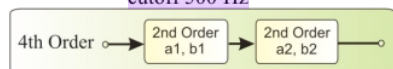
$$C_2 \geq C_1 \frac{4 b_1}{a_1^2} \quad (4)$$



Gambar 4. Susunan tahapan *Low Pass Filter* orde 4



Gambar 5. Rangkaian *Low Pass Filter* orde 4 frekuensi *cutoff* 500 Hz



Gambar 6. Susunan tahapan *High Pass Filter* orde 4.

➤ Perancangan Rangkaian *High Pass Filter* Orde 4 frekuensi *Cutoff* 20 Hz.

Rangkaian *High Pass Filter* orde 4 (Gambar 7) dibentuk dari 2 buah rangkaian *High Pass Filter* orde 2 *Sallen-Key Topology* sebagaimana diagram blok pada Gambar 6. Nilai $a_1 = 1.8478$; $b_1 = 1.0000$; $a_2 = 0.7654$ dan $b_2 = 1.0000$ (3) merupakan koefisien *Butterworth* untuk orde 4. Dengan menggunakan nilai $C_1 = C_2 = 1$ μ F, $a_1 = 1.8478$ dan $b_1 = 1.0000$ untuk frekuensi *cutoff* (f_c) 20 Hz nilai R_1, R_2 *High Pass Filter* orde 2 pertama dapat dihitung dengan Persamaan (5) dan (6) berikut.

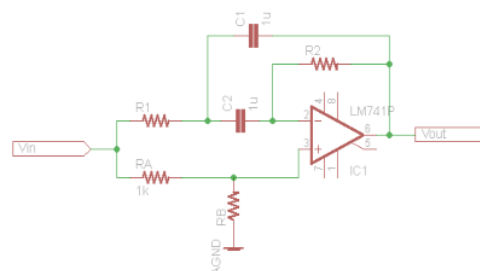
$$R_1 = \frac{1}{\pi f_c C a_1} \quad (5)$$

$$R_2 = \frac{a_1}{4 \pi f_c C b_1} \quad (6)$$

High Pass Filter orde 2 kedua dihitung menggunakan Persamaan (5) dan (6) dengan mengganti R_1 menjadi R_3 ; R_2 menjadi R_4 ; $C_1 = C_3 = C_4 = 1$ μ F; a_1 menjadi a_2 ; b_1 menjadi b_2 sehingga didapatkan nilai R_3 dan R_4 .

➤ Perancangan *Notch Filter*

Rangkaian *Notch Filter* pada penelitian ini digunakan untuk menghilangkan noise jala-jala frekuensi 50 Hz pada tegangan masukan maupun yang ditimbulkan Osiloskop.



Gambar 8. Rangkaian *Notch Filter*

Rangkaian *Notch Filter* ditunjukkan seperti Gambar 8. Nilai C_1 yang digunakan sebesar 1 μ F, $R_A = 1$ k Ω dan frekuensi *cut off* (f_c) 50 Hz. Nilai *center frequency* ω_c , nilai *quality factor* (Q), R_2 , R_1 dan R_B dihitung dengan Persamaan (7), (8), (9), (10) dan (11).

$$\omega_r = 2\pi f_o \quad (7)$$

$$Q = \frac{\omega_r}{B} \quad (8)$$

$$R2 = \frac{2}{BC} \quad (9)$$

$$R1 = \frac{R2}{4Q^2} \quad (10)$$

$$RB = 2Q^2 R_a \quad (11)$$

B. Posisi Perekaman Sinyal *Phonocardiography* (PCG)

Sinyal *Phonocardiography* atau sinyal suara jantung direkam dengan bantuan Instrumentasi *Phonocardiography* (PCG). Posisi perekaman suara jantung pada tubuh (Ambar.1) dapat dilakukan di empat posisi yaitu *Pulmonari Arteri* (PA), *Right Ventricle* (RV), *Left Ventricle* (LV), dan *Aortic* (AO). Pada penelitian ini diambil pasien jantung normal yang berjenis kelamin laki-laki, usia 33 tahun dengan berat badan 63 Kg dan tinggi badan 169 cm dengan banyaknya perekaman 4 kali.

C. Analisa Sinyal *Phonocardiography* (PCG) dengan DFT dan secara Anatomi Fisiologis.

Sinyal PCG hasil perekaman akan dianalisa dengan DFT untuk mendapatkan informasi frekuensi sinyal yang dihasilkan, kemudian besar frekuensi hasil analisa beserta pola sinyalnya akan dibandingkan dengan literatur. Kemudian analisis akan dilanjutkan dengan menjelaskan secara anatomi dan fisiologis terkait pola sinyal dan frekuensinya untuk mendapatkan makna dari hasil riset yang sudah dilakukan.

V. HASIL EKSPERIMEN

D. Hasil Uji Pembuatan Instrumentasi PCG

➤ Hasil *Stetoskop Pre-Amp Mic Condenser* instrumentasi PCG

Gambar 9 menunjukkan *Pre-Amp Mic Condenser* yang terpasang pada stetoskop Riester. Data sinyal yang didapat dari alat tersebut yang akan di teruskan ke pengkondisi sinyal (*Low Pass Filter*, *High Pass Filter* dan *Notch Filter*) untuk menghasilkan sinyal PCG pada rentang frekuensi 20 Hz sampai 500 Hz dan terhindar dari noise jala-jala 50 Hz.



Gambar 9. *Stetoskop Pre-Amp Mic Condenser*

➤ Hasil Uji Perancangan Rangkain *Low Pass Filter* Orde 4 frekuensi *Cutoff* (fc) 500 Hz.

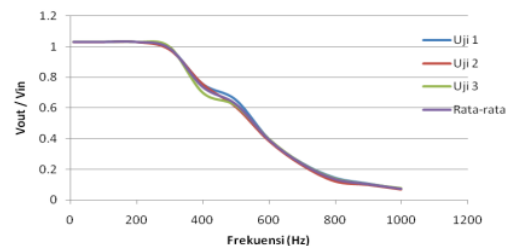
Tabel 1 menginformasikan hasil uji Instrumentasi *Low Pass Filter* analog Orde 4 frekuensi *Cutoff* (fc) 500 Hz dengan variable tetapnya tegangan input (V_{in}) sebesar 1 volt dan variable berubahnya adalah frekuensi dari 10 Hz sampai 1000 Hz dengan banyaknya pengujian alat sebanyak 3 kali dihasilkan tampilan grafik sebagaimana Gambar 10. Penguatan -3 dB atau (0.737 ± 0.032) kali terjadi di frekuensi 400 Hz. Terlihat bahwa frekuensi < 500 Hz di loloskan dan frekuensi > 500 Hz akan dkecilkan bahkan dihilangkan pada filter ini.

Tabel 1. Hasil uji Rangkain *Low Pass Filter* Orde 4 frekuensi *Cutoff* (fc) 500 Hz.

V_{in} (Pk-Pk) = 1 volt	V_{out}/V_{in} <i>Low Pass Filter</i> Fc 500 Hz Percobaan ke-			Analisa Data	
Frek (Hz)	1	2	3	Rat*	St Dev**
10	1.03	1.03	1.03	1.030	0.000
100	1.03	1.03	1.03	1.030	0.000
200	1.03	1.03	1.03	1.030	0.000
300	0.987	0.901	0.998	0.962	0.053
400	0.756	0.756	0.7	0.737	0.032
500	0.653	0.609	0.615	0.626	0.024
600	0.397	0.388	0.398	0.394	0.006
700	0.241	0.23	0.239	0.237	0.006
800	0.144	0.124	0.14	0.136	0.011
900	0.106	0.101	0.104	0.104	0.003
1000	0.072	0.071	0.077	0.073	0.003

* rata –rata penguatan

** Standar deviasi



Gambar 10. Grafik Hasil Uji *Low Pass Filter* Orde 4 frekuensi *Cutoff* (fc) 500 Hz

➤ Hasil Uji Rangkain *High Pass Filter* Orde 4 frekuensi *Cutoff* 20 Hz.

Tabel 2 menginformasikan hasil pengujian *High Pass Filter* Orde 4 Frekuensi *Cutoff* 20 Hz, dengan variable tetapnya tegangan input (V_{in}) sebesar 1 volt dan variable berubahnya adalah frekuensi dari 10 Hz sampai 1000 Hz dengan banyaknya pengujian alat sebanyak 3 kali dihasilkan tampilan grafik sebagaimana Gambar 11. Grafik menunjukkan bahwa penguatan -3 dB terjadi pada frekuensi 20 Hz (0.660 ± 0.010) kali) dan tegangan terus membesar seiring kenaikan frekuensi setelah 20 Hz sampai 100 Hz. Pada frekuensi > 200 Hz, tegangan *peak to peak* jadi stabil di 1.013 volt. Terlihat bahwa frekuensi > 20 Hz di loloskan dan

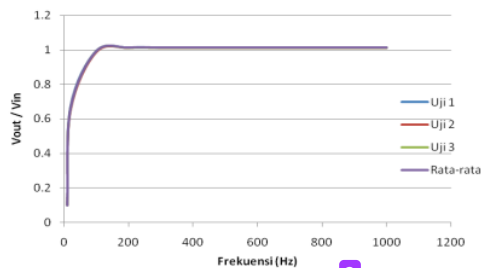
frekuensi < 20 Hz akan dikecilkan bahkan dihilangkan pada filter ini.

Tabel 2. Hasil uji Rangkaian *High Pass Filter* Orde 4 frekuensi *Cutoff* (fc) 20 Hz

Vin (Pk-Pk) = 1 volt	Vout/Vin High Pass Filter Fc 20 Hz Percobaan ke-			Analisa Data	
Frek (Hz)	1	2	3	Rat*	St Dev**
10	0.1	0.1	0.1	0.100	0.000
20	0.669	0.65	0.66	0.660	0.010
100	0.994	0.988	0.994	0.992	0.003
200	1.013	1.013	1.013	1.013	0.000
300	1.013	1.013	1.013	1.013	0.000
400	1.013	1.013	1.013	1.013	0.000
500	1.013	1.013	1.013	1.013	0.000
600	1.013	1.013	1.013	1.013	0.000
700	1.013	1.013	1.013	1.013	0.000
800	1.013	1.013	1.013	1.013	0.000
900	1.013	1.013	1.013	1.013	0.000
1000	1.013	1.013	1.013	1.013	0.000

* rata-rata penguatan

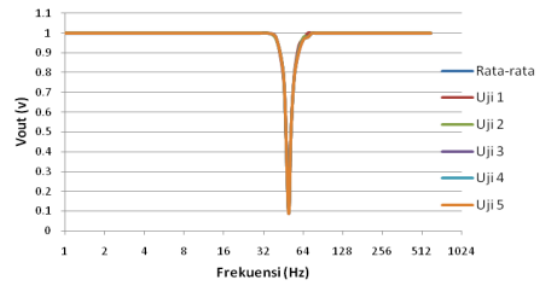
** Standar deviasi



Gambar 11. Grafik Hasil Uji *High Pass Filter* Orde 4 frekuensi *Cutoff* (fc) 20 Hz

➤ Hasil Uji Perancangan *Notch Filter*.

Notch Filter yang dibutuhkan pada Instrumentasi PCG hanya 1 buah, berbeda dengan Instrumentasi ECG yang membutuhkan 2 buah *Notch Filter* pada penelitian kami yang sudah di publikasikan sebelumnya. *Notch Filter* pada Instrumentasi PCG memanfaatkan *Notch Filter* 1 Instrumentasi ECG. Berdasarkan hasil uji *Notch Filter* dengan *function generator*, untuk variable tetapnya adalah tegangan input (V_{in}) 1 volt dan variable berubahnya adalah besarnya frekuensi dari 1 Hz sampai 600 Hz dengan pengujian alat sebanyak 5 kali, dihasilkan tegangan output (V_{out}) terkecil terjadi di frekuensi 50 Hz dengan besar V_{out} (0.14 ± 0.00) volt sebagaimana Tabel 3 dan *Quality factor* (Q) yang dihasilkan sebesar 6.28. Hasil tampilan grafiknya ditunjukkan sebagaimana Gambar 12 [5].



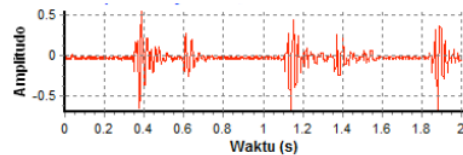
Gambar 12. Grafik Hasil Uji *Notch Filter* 1

Tabel 3. Hasil uji *Notch Filter* 1 instrumentasi PCG

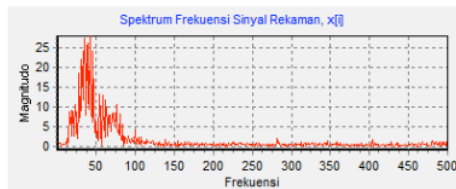
Vin*	Vout Notch Filter Percobaan ke-					Rata-rata	Standar
Frek (Hz)	1	2	3	4	5	rata	Deviasi
1	1	1	1	1	1	1	0
5	1	1	1	1	1	1	0
10	1	1	1	1	1	1	0
15	1	1	1	1	1	1	0
20	1	1	1	1	1	1	0
25	1	1	1	1	1	1	0
30	1	1	1	1	1	1	0
35	1	1	1	1	1	1	0
40	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.000
45	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.000
47	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.000
50	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.000
52	0.420	0.420	0.440	0.420	0.420	0.424	0.009
55	0.730	0.750	0.730	0.750	0.730	0.738	0.011
60	0.910	0.910	0.910	0.910	0.920	0.912	0.004
65	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.000
70	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.000
75	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000
80	1	1	1	1	1	1	0
85	1	1	1	1	1	1	0
90	1	1	1	1	1	1	0
95	1	1	1	1	1	1	0
100	1	1	1	1	1	1	0
200	1	1	1	1	1	1	0
300	1	1	1	1	1	1	0
400	1	1	1	1	1	1	0
500	1	1	1	1	1	1	0
600	1	1	1	1	1	1	0

$V_{in}^* = V_{input} (Peak\ to\ peak) = 1\ volt$

E. Hasil Posisi Perekaman Sinyal *Phonocardiography* (PCG).



Gambar 13. Sinyal PCG



Gambar 14. Tampilan hasil DFT sinyal PCG.

Hasil perekaman sinyal sinyal PCG dengan bantuan instrumentasi PCG pada pasien jantung normal yang berjenis kelamin laki-laki, usia 33 tahun dengan berat badan 63 Kg dan tinggi badan 169 cm dengan banyaknya perekaman 4 kali, menghasilkan dua siklus sinyal PCG seperti Gambar 13. Data teks yang diperoleh pada perekaman dengan Osiloskop diolah dengan DFT melalui program Delphi 7 hasilnya di tunjukkan pada Gambar 14.

Pada Gambar 13 dihasilkan sinyal PCG yang smooth, hasil sinyal ini didapatkan setelah melewati 1 buah *Notch Filter* saja, berbeda dengan sinyal ECG di penelitian sebelumnya yang harus melewati 2 buah *Notch Filter* pada Instrumentasi ECG untuk dihasilkan pola sinyal yang *smooth*. Ketika sinyal PCG melewati 1 *Notch Filter* saja sudah didapatkan pola sinyal PCG yang bagus karena pengaruh noise frekuensi 50 Hz tidak terlalu signifikan disebabkan kerja sinyal PCG berada pada rentang frekuensi 20 Hz sampai 400 Hz, ini dibuktikan dengan hasil DFT seperti Gambar 14. Dari hasil DFT pada sinyal PCG memberikan informasi bahwa sinyal PCG area frekuensinya di antara 20 Hz sampai 150 Hz.

F. Hasil Analisa Sinyal *Phonocardiography* (PCG) dengan DFT dan secara Anatomi Fisiologi.

Hasil DFT pada sinyal PCG memberikan informasi bahwa sinyal PCG area frekuensinya di antara 20 Hz sampai 150 Hz, Frekuensi tertingginya pada sinyal PCG merupakan bunyi suara jantung pertama (S1) dilanjutkan bunyi suara jantung kedua (S2) [4]. Jadi bunyi buka tutup katup pulmonal saat darah di pompa dari atrium sebelah kanan menuju ventrikel kanan dan darah dipompa dari atrium kiri menuju ventrikel kiri melewati katup mitral menghasilkan frekuensi suara jantung tertinggi. Sedangkan bunyi buka tutup katup aortik terjadi saat darah di pompa dari ventrikel sebelah kiri menuju seluruh tubuh dan saat darah di pompa dari ventrikel kanan menuju paru-paru. Pada suara S2 merupakan hasil gabungan bunyi penutupan katup *pulmonal* dan *aortic*. Bunyi katup *pulmonal* terjadi setelah darah yang mengandung sedikit oksigen dipompa menuju paru-paru sedangkan bunyi katup *aortic* terjadi setelah dilewati darah kaya oksigen yang akan di edarkan keseluruh tubuh. Sehingga proses mendedarkannya dibutuhkan tekanan yang besar dalam memompa darah.

VI. KESIMPULAN

Untuk mendukung pentingnya klasifikasi sinyal suara jantung, maka hasil beberapa pekerjaan pendahuluan terkait pendeteksian sinyal suara jantung (*Phonocardiography*) menggunakan instrumentasi PCG dihasilkan informasi bahwa hasil *Pre-Amp Mic*

Condenser yang terpasang pada stetoskop Riester sudah berfungsi dengan baik. Untuk *Low Pass Filter* Analog Orde 4 dengan frekuensi *cutoff* 500 Hz penguatan -3 dB terjadi di area frekuensi 400 Hz, yaitu (0.737 ± 0.032) kali. Untuk *High Pass Filter* Analog Orde 4 dengan frekuensi *cutoff* 20 Hz penguatan -3 dB terjadi di area frekuensi 20 Hz, yaitu (0.660 ± 0.010) kali. Sedangkan hasil uji *Notch Filter* dihasilkan tegangan output (*Vout*) terkecil di frekuensi 50 Hz dengan besar *Vout* (0.14 ± 0.00) volt dengan *Quality factor* (*Q*) sebesar 6.28, [5]. Analisa sinyal suara jantung (PCG) dengan menggunakan DFT memberikan informasi bahwa pada sinyal jantung, area frekuensinya di antara 20 Hz sampai 150 Hz yang ditunjukkan Gambar 14. Sehingga bunyi suara jantung pertama (S1) dan bunyi suara jantung kedua (S2) yang disebabkan membuka dan menutupnya katup-katup jantung tersebut bekerja di area frekuensi antara 20 Hz sampai 150 Hz. Penelitian ini selanjutnya akan dikembangkan pada *Multimodal Cardiac Analysis* dengan menampilkan sinyal ECG, sinyal *Phonocardiography* (PCG) dan sinyal Tekanan Darah (diwakili sinyal *Carotid Pulse*) secara simultan untuk mendapatkan informasi anatomi dan fisiologi jantung yang lebih kompleks.

(1) REFERENCES

- [10] J.P. de Vos, and M.M. Blanckenberg, "Automated Pediatric Cardiac Auscultation", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 54, pp. 244-252, 2007.
- [11] Jaakko Robert, "Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields," New York, OXFORD UNIVERSITY PRESS, pp.167-179, 1995.
- [12] Ranagayyan, "Biomedical Signal Analysis A Case-Study Approach," IEEE Press, John Wiley & Sons, INC, Canada, 2002.
- [13] E.A. Suprayitno, R.Hendra, A. Arifin, "Analisa Sinyal *Electrocardiography* dan *Phonocardiography* Secara Simultan Menggunakan *Continuous Wavelet Transform*," Proceedings of the The 6th – EECCIS Seminar 2012 at Brawijaya University, Malang, pp. B18-1 - B18-6, Mei 2012.
- [14] E.A. Suprayitno, A. Arifin, "Sistem Instrumentasi Sinyal *Electrocardiography* untuk Analisa Dinamika Jantung," Seminar Nasional Fisika terapan III (ISBN), FST Universitas Jember, Jember, pp.D12, September 2012.
- [15] Z. Syed, D. Leeds, D. Curtis, F. Nesta, R.A. Levine, and J. Gutttag, "A Framework for the Analysis of Acoustical Cardiac Signals," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 54, pp. 651-662, 2007.

Communications

Analisa Kinerja Zero Forcing dengan Multiple Input Multiple Output (MIMO) pada Jaringan Sensor Nirkabel

Ari Endang Jayati
Teknik Elektro
Universitas Semarang
Semarang, Indonesia
Email: ariendang@usm.ac.id

M. Sipan
101 Teknik Elektro
Universitas Semarang
Semarang, Indonesia
Email: Ziphan11@usm.ac.id

Sri Heranurweni
101 Teknik Elektro
Universitas Semarang
Semarang, Indonesia
Email: heranur@usm.ac.id

Abstract— Wireless sensor networks have limited power, memory, and communication. Average 98 sensors powered by batteries that have limited lifetime. Communications equipment used to transmit data over the wireless network must consider the availability of bandwidth, range sensors and sensor communication range. The main problems in distributed system of wireless sensor network is how detect messages with limited resources as efficiently as possible in 137er to get the performance parameters better. While the main objective of this research is to analyze the performance of the demodulation of distributed systems, namely Zero Forcing (ZF) in a wireless sensor network system using Multiple Input and Multiple Output (MIMO) with the performance parameters are the Signal to Noise Ratio (SNR) and Bit Error Rate (BER).

Keywords—wireless sensor network; zero forcing; distributed systems; multiple input multiple output; signal to noise ratio

I. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi nirkabel sedang mengalami kemajuan pesat beberapa tahun ini. Penelitian di bidang jaringan sensor nirkabel telah mengalami pertumbuhan tajam dan mendapatkan banyak popularitas dalam beberapa tahun terakhir, karena memiliki fitur seperti jaringan *ad hoc* tetapi memiliki kemampuan tidak tergantung dengan infrastruktur dan setiap node mampu untuk mengorganisir diri sendiri tanpa keterlibatan server, router, *access point* atau switch.

Jaringan sensor nirkabel memiliki keterbatasan daya, memori dan komunikasi. Rata-rata sensor dicatu oleh baterai yang mempunyai *lifetime* sangat terbatas. Peralatan komunikasi yang digunakan untuk mengirimkan data melalui jaringan nirkabel harus memperhatikan ketersediaan *bandwidth*, range sensor dan range komunikasi sensor[3].

Jayaweera pada tahun 2005 telah melakukan penelitian untuk mengatasi keterbatasan daya dengan mengusulkan arsitektur virtual *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) yang bersifat kooperatif dan terdistribusi pada jaringan sensor nirkabel. Jayaweera pada tahun 2005 telah melakukan penelitian untuk mengatasi keterbatasan daya dengan mengusulkan arsitektur virtual *Multiple Input Multiple Output*

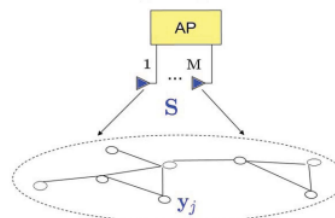
(MIMO) yang bersifat kooperatif dan terdistribusi pada jaringan sensor nirkabel.

Yi Jiang pada tahun 2011 telah melakukan penelitian yang menggabungkan beberapa metode untuk penghematan energi dari segi informasi maupun dari segi pengolahan sinyal yaitu dengan cara menganalisa kinerja ekualizer ZF dan MMSE pada sistem MIMO. Hasil penelitian menunjukkan terdapat gap SNR antara ZF dan MMSE untuk daerah uji SNR tinggi.

Tujuan utama pada penelitian ini adalah menganalisa kinerja demodulasi sistem terdistribusi yaitu *Zero Forcing* (ZF) pada jaringan sensor nirkabel menggunakan sistem *Multiple Input dan Multiple Output* (MIMO) dengan parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja akan ketahanan terhadap noise adalah *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Bit Error Rate* (BER).

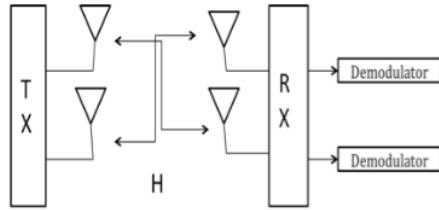
II. MODEL SISTEM

Model system penelitian ini seperti pada Gambar 1. Sejumlah sensor tersebar secara acak pada daerah tertentu.



Gambar 1. Model Sistem [2]

. Sumber berasal dari *Access Point* (AP) dengan 2 antenna yang akan memetakan matriks ruang-waktu S ukuran $M \times N$ menjadi alfabet terbatas dengan N adalah jumlah slot waktu. AP mentransmisikan S ke jaringan sensor nirkabel dengan jumlah sensor J yang mempunyai 2 antenna penerima. Sumber akan mendeteksi sensor yang tersebar. Sensor yang berada pada range sumber disebut sensor aktif [2].



Gambar 2. Konfigurasi MIMO

Jumlah antenna sumber dan antenna sensor 2x2 sehingga konfigurasi MIMO seperti gambar 2. Informasi yang diterima oleh sensor kemudian akan diekualisasi dengan ekualiser *Zero Forcing* untuk menghilangkan *Inter Symbol Interference*, selanjutnya akan dikirim ke *fusion center*. Range komunikasi untuk masing-masing sensor dapat ditentukan dari jarak *Eclidean*.

A. Sensor

Pada penelitian ini model penyebaran sensor adalah distribusi *uniform*. Sedangkan model pendeteksian sensor adalah model deteksi biner.

B. Kanal

Data dari antenna *Access Point* (AP) dikirimkan ke sensor melalui kanal *fading*. Blok yang diterima y_j ukuran $N \times 1$ pada sensor ke- j diberikan hubungan input output sbb :

$$y_j = S^T h_j + \varepsilon_j \quad (1)$$

Dengan :

- y_j = sinyal yang diterima sensor ke- j
- S^T = matrik ruang waktu
- h_j = matrik kanal AP ke sensor j
- ε_j = noise AWGN

Topologi yang digunakan adalah topologi paralel. Komunikasi antara sensor yang berdekatan dalam *hop* tunggal melalui saluran yang bersifat ideal dan *time-invariant*. Noise kanal adalah *additive white noise Gaussian* dan tidak berkorelasi antar kanal[2].

C. Sumber

Sumber data adalah multi antenna AP dengan jumlah antenna 2 yang mengirimkan informasi yang dimodulasi BPSK dan 2 buah antenna penerima pada sensor dengan konfigurasi MIMO.

D. Demodulator Linier

Algoritma demodulator linier yang digunakan adalah *Zero Forcing* (ZF) Persamaan demodulator *Centralized ZF* dapat dituliskan dalam bentuk tertutup [2] :

$$\hat{s}_{ZF} = \underset{s}{\operatorname{argmin}} \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J \|y_j - H_j s\|^2 = (H^T H)^{-1} H^T y \quad (2)$$

E. Multiple Input Multiple Output

Multiple Input Multiple Output (MIMO) adalah suatu teknologi yang muncul menggunakan prinsip

91

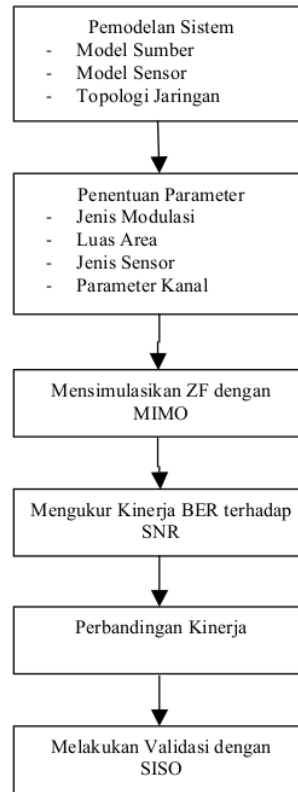
diversity dengan tujuan meningkatkan *data rate* dalam *range* yang lebih besar tanpa membutuhkan *bandwidth* atau daya transmisi yang besar.

Pada sisi penerima rumus untuk estimasi dari simbol yang ditransmisikan adalah:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = (H^H H)^{-1} H^H \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_1^2 * \\ y_2^2 * \end{bmatrix} \quad (3)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Langkah-langkah Penelitian

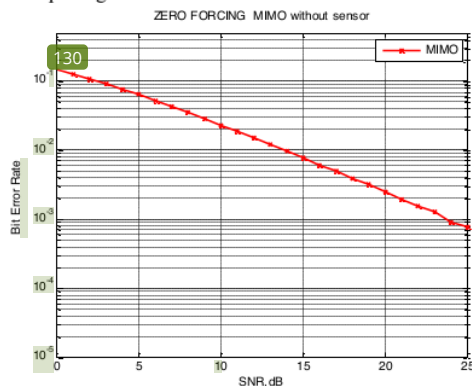
Pada penelitian ini dilakukan simulasi menggunakan demodulator linier *Zero Forcing* pada jaringan sensor nirkabel dengan konfigurasi antenna MIMO 2x2. Luas area yang digunakan adalah 50m x 50m dengan node sebanyak 2 buah yang disebar menggunakan distribusi *uniform*. Parameter lain yang digunakan adalah range komunikasi node sensor sebesar $r = 0,5$ dan kedua node dihubungkan dengan jarak *Euclidean* kurang dari $r[1]$. Simbol berasal dari sinyal yang dimodulasi BPSK dan dipetakan langsung ke matrik S dimana AP memiliki antenna $M=2$.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Zero Forcing Tanpa Sensor

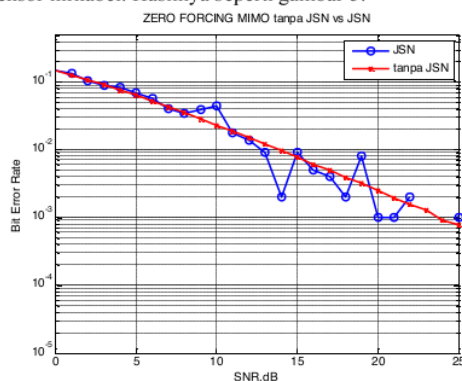
Pada bagian ini disimulasikan mengenai kinerja demodulator linier *Zero Forcing*. Simbol berasal dari konstelasi BPSK dengan 1 simbol terdiri dari 1 bit dan dipetakan langsung ke matrik S dimana AP memiliki antenna $M=2$. Kemudian dikirimkan ke sensor dengan antenna penerima 2 melalui kanal Rayleigh. Pada sisi penerima sinyal yang diterima tiap sensor akan diekualisasi dengan ZF untuk mengkompensasi kanal. Kemudian hasilnya akan dikirim ke fusino center untuk pengambilan keputusan.

Pada bagian ini disimulasikan mengenai kinerja ZF sebelum terhubung dengan jaringan sensor nirkabel. Dari hasil simulasi untuk konfigurasi MIMO dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Zero Forcing MIMO Tanpa Sensor

Hasil simulasi menunjukkan kinerja Zero Forcing dengan konfigurasi MIMO yang belum terhubung dengan jaringan sensor nirkabel sangat bagus, untuk mencapai nilai BER 10^{-3} dibutuhkan SNR 24 dB. Untuk simulasi berikutnya adalah menerapkan Zero Forcing dengan konfigurasi MIMO pada jaringan sensor nirkabel. Hasilnya seperti gambar 5.



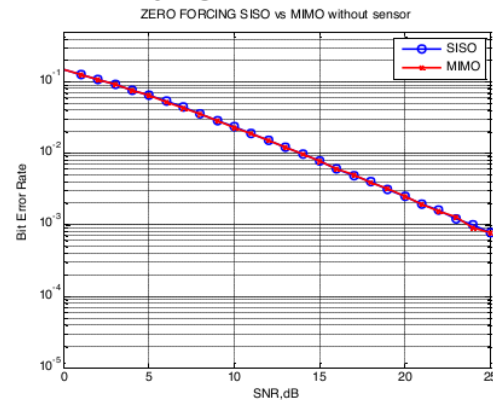
Gambar 5. Perbandingan Zero Forcing MIMO tanpa JSN dan dengan JSN

Kinerja ZF MIMO yang diterapkan pada Jaringan Sensor Nirkabel ternyata tetap bagus, untuk mencapai

nilai BER 10^{-3} dibutuhkan SNR 21 dB. Hal ini ternyata lebih bagus dibandingkan kinerja ZF secara umum. Tetapi grafik menunjukkan fluktuasi nilai BER, hal ini dikarenakan pentransmisian sinyal yang melalui kanal Fading dan jumlah sensor lebih dari satu.

F. Validasi dengan SISO

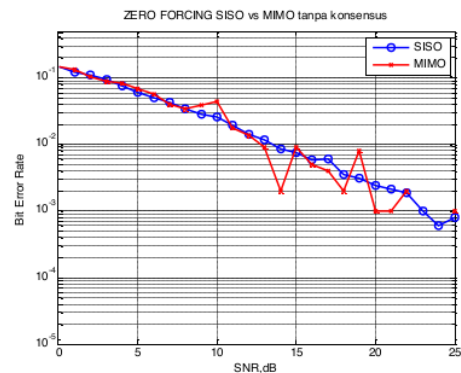
Simulasi perbandingan antara ZF MIMO dengan SISO sebelum diterapkan pada jaringan sensor nirkabel terlihat seperti gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Zero Forcing MIMO dan SISO Tanpa Sensor

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja ZF untuk SISO dan MIMO sama. Hal ini karena matrik diagonal tidak nol maka ZF akan membuat interferensi menjadi nol sehingga ada penguatan pada noise.

Hasil simulasi perbandingan antara ZF MIMO yang diterapkan pada jaringan sensor nirkabel dengan ZF SISO terlihat seperti gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Zero Forcing MIMO dan SISO

Grafik menunjukkan bahwa kinerja ZF MIMO yang diterapkan pada Jaringan Sensor Nirkabel ternyata tetap bagus, karena untuk mencapai nilai BER 10^{-3} dibutuhkan SNR 21 dB. Kinerja SISO lebih stabil karena jumlah antenna tiap sensor cuma satu dan proses perhitungannya lebih sederhana. Sedangkan kinerja ZF MIMO menunjukkan fluktuasi nilai BER, hal ini dikarenakan pentransmisian sinyal yang melalui kanal

Fading dan jumlah sensor dan jumlah antena lebih dari satu sehingga lebih kompleks.

V. KESIMPULAN

1. Penerapan demodulasi linier ZF dengan konfigurasi MIMO yang diterapkan pada Jaringan Sensor Nirkabel ternyata tetap bagus, untuk mencapai nilai BER 10^{-3} dibutuhkan SNR 21 dB.
2. Kinerja ZF MIMO dibandingkan dengan SISO pada Jaringan Sensor Nirkabel menunjukkan fluktuasi nilai BER, hal ini dikarenakan penransmisiian sinyal yang melalui kanal Fading dan jumlah sensor dan jumlah antena lebih dari satu sehingga lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. E. Jayati dan Wirawan, “ Demodulasi Berdasarkan Konsensus Terdistribusi pada Jaringan Sensor Nirkabel”, Proceeding SNPs XII, 2012.
- [2] Hao Zhu, Alfonso Cano dan Georgios B. Giannakis, “Distributed Consensus-Based Demodulation : Algorithm and Error Analysis”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 9, No. 6, 2010.
- [3] I.F Akyldiz , Y. Sankarasubramaniam dan E. Cayirci (2002), “A Survey on Sensor Network”, *IEEE Comm Mag*, hal. 102-114.
- [4] Jiang, M.K. Varanasi dan Li Jian (2011), “ Performance Alalysis of ZF and MMSE Equalizers for MIMO Systems : An In-Depth Study of the High SNR Regime”, *IEEE Trans. On Information Theory*, vol. 57, no. 4, 2011.
- [5] M.S Ullah (2011), “Performance Analysis of Wireless MIMO System by Using Alamouti’s Scheme and Maximum Ratio Combining Technique”, *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*, Vol. 8.
- [6] S.K. Jayaweera (2006), “ Virtual MIMO-based Cooperative Communication for Energy-Constrained Wireless Sensor Networks”, *IEEE Trans. On Wireless Communication*, vol. 15, pp. 984-989.
- [7] Tuan-Duc Nguyen; Olivier Berder; Olivier Sentieys (2007), “Energy-Efficiency Optimization for Cooperative (MIMO) Schemes in WSNs”, IRAMUS Thematic Informational Workshop Val Thorens.

Aplikasi *Wireless Sensor Network* (WSN) Sebagai Sistem Monitoring Cuaca Berbasis *WEB*

Sumantri K. Risandriya

Jurusan Teknik Elektro

Politeknik Negeri Batam

Batam, Indonesia

Email : Sumantri@polibatam.ac.id

Safrizal

Jurusan Teknik Elektro

Politeknik Negeri Batam

Batam, Indonesia

E-Mail: safrizal250991@gmail.com

Abstrak— Kondisi cuaca (hujan, suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin) di kota Batam antara satu tempat dengan tempat yang lainya berbeda walaupun masih dalam satu Kecamatan, hal ini yang mendukung pentingnya informasi cuaca berbasis web. Informasi adanya curah hujan, suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin sebenarnya adalah prakiraan cuaca belum keadaan sesungguhnya. Dalam hal ini peneliti berusaha menampilkan kondisi sesungguhnya. Mikrokontroler akan membaca tegangan yang masuk dari sensor ,kemudian tegangan tersebut diubah ke dalam nilai ADC (*Analog to Digital Converter*). Data dari nilai ADC inilah yang akan dikirimkan ke server menggunakan jaringan GPRS, kemudian disimpan ke dalam server sehingga apabila ada permintaan dari client (masyarakat) , data tersebut akan di tampilkan di WEB. System yang dibuat telah membuat 2 lokasi yaitu kondisi cuaca di batam centre dan kecamatan batu aji-batam. System yang dihasilkan *real time*, dengan waktu update setiap menit. Web server yang digunakan berfungsi untuk menyipnkan data dan menampilkan jika diakses.

Kata kunci : Cuaca; ADC; GPRS; Server; WEB

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang beriklim tropis dengan curah hujan yang cukup tinggi hingga mencapai 200mm/jam[1]. Khususnya kota Batam, curah hujan yang terjadi antara satu tempat dengan tempat yang lainya berbeda walaupun masih dalam satu Kecamatan. Dengan adanya perbedaan curah hujan tersebut dapat mengganggu masyarakat khususnya bagi pengguna sepeda motor dan jasa angkutan umum dalam menempuh perjalanan. Informasi adanya curah hujan, suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin sebenarnya sudah ada yaitu *websites* *meteorologi Hang Nadim-Batam*. Tetapi, pada *website* tersebut masih berupa prakiraan kondisi cuaca untuk wilayah kota batam secara general. Maka dari itu muncul ide peneliti untuk membuat alat yang dapat memonitoring curah hujan, suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin. Hal ini sangat bermanfaat bagi masyarakat untuk melakukan persiapan jika terjadinya hujan untuk menempuh perjalanan. Adapun tujuan pada penelitian Tugas Akhir

ini akan dirancang sebuah alat untuk memonitoring terjadinya hujan, suhu dan kelembaban dan dapat diakses melalui layanan WEB.

Alat untuk memonitoring cuaca terdiri dari 5 buah sensor setiap tempatnya yaitu sensor hujan, suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin. Setiap input yang masuk melalui mikrokontroler mempunyai besaran yang berbeda-beda. Sehingga, dengan menggunakan besaran tersebut maka dapat di ketahui terjadinya hujan, tidak hujan, besarnya suhu dan kelembaban. Data yang didapat pada mikrokontroler ini dikirim ke layanan WEB. Adapun untuk mengirim data yang didapat dari mikrokontroler menggunakan modul GPRS. Modul GPRS inilah yang akan menghubungkan data dari mikrokontroler ke internet, sehingga informasi tersebut dapat di akses oleh masyarakat untuk mengetahui terjadi hujan atau tidak dan besarnya suhu dan kelembaban pada daerah yang akan di tuju.

II. ADC DAN MICROCONTROLLER

Analog To Digital Converter yang digunakan adalah ADC 10 bit dengan memanfaatkan ADC yang ada pada ADC microcontroller Arduino UNO. Chip yang digunakan pada board arduino UNO adalah Atmel 328-P dimana sudah terdapat internal ADC dengan resolusi 10 bit. Pada ADC 10 bit Arduino terdapat pin 'AREF' yang merupakan *analog reference* bagi ADC 10 bit, dan pada penelitian ini pin AREF dihubungkan pada tegangan 5 volt, dimana menandakan bahwa tegangan referensi yang digunakan adalah 5 volt. Maka bisa dikatakan resolusi setiap bit adalah:

$$\text{resolusi} = \frac{5V}{1024} = 4.88mV \quad (1)$$

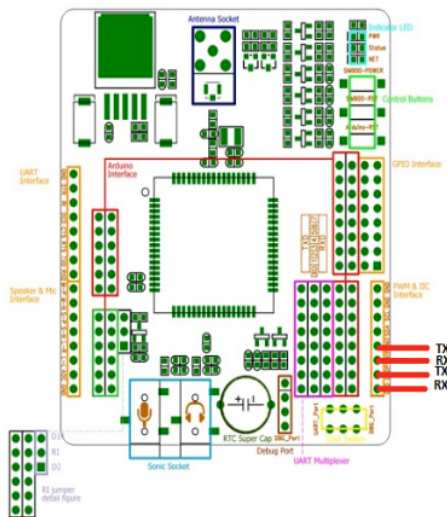
Dimana jika sebuah ADC memiliki 10 bit, maka nilai biner yang dihasilkan dari 2^{10} adalah 1024. Sehingga nilai 1-bit pada ADC 10 bit adalah 0.00488Volt atau 4.8mV.

ADC pada board arduino UNO memiliki 6 chanel analog input dan memiliki clock dengan frekuensi

125KHz yang cocok untuk aplikasi ini yang tidak membutuhkan frekwensi sampling yang tinggi.

III. GPRS

GPRS adalah singkatan dari *General Packet Radio Service* yang memungkinkan pengiriman dan penerimaan data melalui jaringan handphone. Biaya penggunaan GPRS dihitung berdasarkan jumlah megabyte yang di-download dan bukan dari lamanya waktu koneksi. GPRS memungkinkan para rdan sebagainya. Adapun pengiriman data dari sensor ke server peneliti menggunakan modul sim900. Dalam modul ini sudah dilengkapi GSM dan GPRS sehingga modul ini juga bias berfungsi untuk mengirim sms. Komunikasi yang digunakan pada sim900 dengan arduino adalah komunikasi rx tx, Untuk dapat menghubungkan arduino dengan sim900 maka pin RX TX (2 dan 3) harus diubah ke pin 3 dan 4 (selain pin 2 dan 3) hal ini harus dilakukan karena komunikasi rx tx pada pin 2 dan 3 sudah di pakai untuk komunikasi arduino dengan PC.



Gambar 1. Layout sim900 GPRS v1.1

IV. SENSOR CUACA

Sensor cuaca yang dipakai dalam penelitian ini ada 5 (hujan, suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin) setiap tempatnya. Sample tempat yang digunakan ada 2 tempat hal ini dilakukan untuk membandingkan perbedaan cuaca antara kedua tempat tersebut.

4.1 Sensor Hujan

Sensor curah hujan adalah sebuah sensor yang terbuat dari tembaga atau bahan yang bersifat konduktor [12] dibuat terhubung seri secara terpisah. Sensor curah hujan ini bekerja pada saat air hujan mengenai sensor dan akan terjadi proses elektrolisis oleh air hujan, karena air hujan termasuk kedalam cairan elektrolit yaitu cairan yang dapat menghantarkan listrik.

2

4.2 Sensor Suhu dan Kelembaban

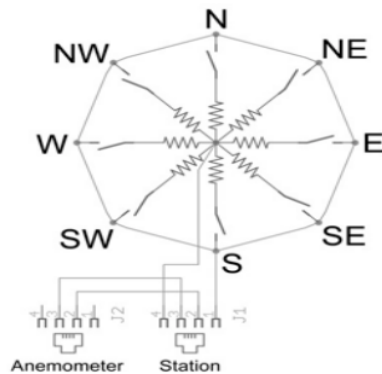
DHT11 adalah sensor Suhu dan Kelembaban, dia memiliki keluaran sinyal digital yang dikalibrasi dengan sensor suhu dan kelembaban yang kompleks. Teknologi ini memastikan keandalan tinggi dan sangat baik stabilitasnya dalam jangka panjang. Mikrokontroler terhubung pada kinerja tinggi sebesar 8 bit. Sensor ini termasuk elemen resistif dan perangkat pengukur suhu NTC. Memiliki kualitas yang sangat baik, respon cepat, kemampuan anti-gangguan dan keuntungan biaya tinggi kinerja. Adapun tegangan kerja pada sensor DHT11 adalah 5 volt, Untuk rentang pembacaan suhu mencapai 50°C dan toleransi kesalahan $\pm 2^\circ\text{C}$. Sedangkan untuk rentang pembacaan kelembaban antara 20-90% RH dan toleransi kesalahan $\pm 5\%$ RH.

4.3 Sensor Arah dan Kecepatan Angin

Prinsip Sensor arah angin menggunakan pembagi tegangan yang dihubungkan dengan 8 nilai resistor yang berbeda. Untuk membaca ADC peneliti menggunakan rumus $1023 * (R/(10000+R))$. Resistor eksternal (10 K) digunakan untuk membagi tegangan sehingga tegangan Output dapat diukur dan di ubah ke dalam ADC. Adapun rangkaian dari sensor arah angin dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Sector	Reading	Direction
0	18	W
1	33	NW
2	57	N
7	97	SW
3	139	NE
6	183	S
5	208	SE
4	232	E

Gambar 2 Data ADC sensor arah angin



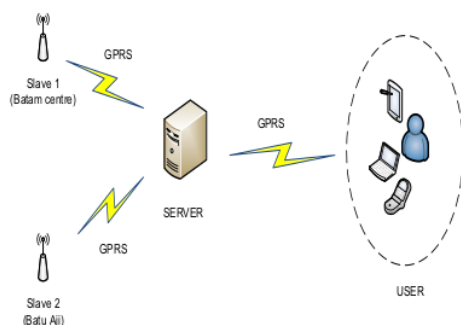
Gambar 3 Rangkaian sensor arah angin

Sensor kecepatan angin terdiri dari 3 cup (cangkir) yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Apabila kecepatan angin mencapai 1.492 MPH (2,4 km / jam) akan menyebabkan saklar menutup sekali per detik. Saklar anemometer terhubung ke dalam 2 kabel RJ11 yang terdiri atas data dan ground. Kedua kabel ini akan dihubungkan ke dalam sensor arah angin.

V. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada sistem monitoring cuaca berbasis WEB ini adalah membandingkan data yang di baca oleh serial monitor mikrokontroler dengan data yang di tampilkan pada website. Untuk mengirimkan 5 data cuaca ke server menggunakan sim900, kelima data tersebut harus digabungkan ke dalam satu variable sehingga membentuk sebuah alamat URL yang akan di kirimkan ke alamat website (cuacabatam.pusku.com).

Dimana system yang digunakan adalah 2 slave dan 1 master, dimana 2 slave ini terdiri dari sensor cuaca dan sebuah microcontroller dengan GSM shield 900. 1 slave diletakan pada kecamatan batam centre dan 1 slave diletakan di batu aji – batam. Seperti pada gambar 4 di bawah:



Gambar 4. System WSN monitoring cuaca berbasis WEB

VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan pada system monitoring cuaca berbasis web ini menggunakan alat ukur multimeter untuk mengukur tegangan sensor dan termometer sebagai pembanding untuk mengukur suhu. Adapun data yang di tampilkan pada serial arduino dapat dilihat pada gambar 5. di bawah ini.

Data received:
/bt_aji_output.php?hujan=Suram&suhu=32&kelembaban=42&arah=E&kecepatan=29.5_KM/H

Gambar 5 Data yang dibaca di serial arduino

Sedangkan data yang di tampilkan pada website dapat dilihat pada gambar 6 di bawah ini.

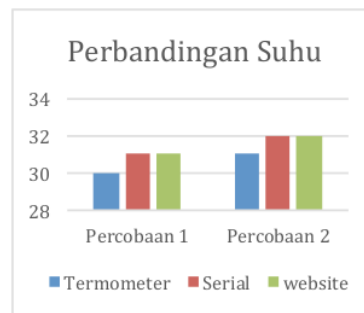
Hujan2	Suhu2	Kelembaban2	arah_angin2	kecepatan_angin2
Suram	32	42	E	29.5_KM/H

Gambar 6 Data yang ditampilkan di Website

Dari kedua gambar di atas maka dapat dilihat bahwa data yang di baca oleh serial arduino sama dengan data yang ditampilkan pada website, sehingga dapat disimpulkan pengiriman data dari sensor menggunakan sim900(GPRS) telah berhasil di lakukan.

6.1 Sensor Suhu

Adapun pengukuran yang dilakukan terhadap sensor suhu menggunakan sensor DHT11. Dalam hal ini peneliti melakukan 3 perbandingan data yaitu, Data yang ditampilkan di Serial Arduino, data yang ditampilkan pada website dan data yang terukur pada termometer. Untuk melihat perbandingan antara ketiga data tersebut dapat kita lihat pada diagram batang di bawah 7 ini.



Gambar 7 Perbandingan nilai suhu

Dari hasil yang didapat pada diagram batang diatas maka dapat kita analisa bahwa data yang terukur pada termometer mengalami perbedaan dengan data yang dibaca pada serial arduino dan data yang ditampilkan pada Website. Adapun tingkat kesalahan (*error*) pada percobaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Error} &= 100 \% - (30/31) \cdot 100\% \\ &= 100 \% - 96,774\% \\ &= 3,22 \% \end{aligned}$$

Kesalahan (*error*) pada pembacaan suhu diatas sebesar 3,22 %, kesalahan ini masih berada pada nilai toleransi yaitu, berada di bawah 5 % untuk pembacaan suhu menggunakan sensor DHT11.

VII. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembagasan yang dilakukan maka dapat di simpulkan :

1. Untuk mengirimkan data dari sim900 (GPRS) ke *Website* kita harus menyamakan alamat URL yang diBaca oleh mikrokontroller dan alamat URL website.
2. Dalam pengiriman data dari sim900 ke tampilan Website tidak perlu menggunakan sistem parsing data Walaupun alamat URL di bolak-balik.
3. Data yang di tampilkan pada *Website* sama dengan data yang di baca pada serial mikrokontroler.
4. Sim900 GPRS hanya bisa mengirimkan 100 data karakter untuk satu kali pengiriman.

104

REFERENSI

- [1] Junguo Zhang, Wenbin Li, Ning Han, Forest "fire detection system based on a ZigBee wireless sensor Network" , Vol.3, Springer Verlag, 2008, pp 369-374
- [2] <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/8866/NSC/LM35.html>
- [3] Inacio Henrique Yano.et.al,wireless sensor network for measuring the consumption of save water taps", American Journal of applied science vol.6 2014.pp.899 - 905
- [4] purwanto "60 Aplikasi Mikro-Plc",Gramedia,Yogyakarta, 2008
- [5] Janner Simarmata"Rekayasa WEB".ANDI, Yogyakarta, 2009
- [7] Tim EMS "Cara Mudah Menjadi WEB MASTER",Elex Media Komputindo,Semarang,2009
- [8] MD Nasimuzzaman Chowdhury.et.al, "Design of 32 Nodes Wireless Sensor Network Through Mesh Networking for Industrial and Residential SecurityAmerican ". Academic & Scholarly Research Journal vol6. 2014.

Desain *Video On Demand (VOD)* Menggunakan *High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)* Di Wilayah Urban Kota Malang

Wahyu Adi Priyono
Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia

Kalvi Winata Marpaung
Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
justkalvin@gmail.com

Rusmi Ambarwati
Teknik Elektro
Universitas Brawijaya
Malang, Indonesia
rusmi@ub.ac.id

Abstrak—Layanan Video On Demand (VOD) adalah salah satu dari kegiatan *streaming*. Layanan VOD membutuhkan alokasi *bandwidth* yang lebih besar daripada aplikasi *streaming* suara. *High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)* adalah jaringan generasi 3,5G dengan *bandwidth* 5 MHz dan *data rate* mencapai 13,6 Mbps. HSDPA secara teoretis mampu memenuhi kebutuhan untuk layanan VOD. Pada penelitian dilakukan desain konfigurasi layanan VOD pada HSDPA dan kajian penerapannya. Parameter yang digunakan untuk menentukan *Quality of Service (QoS)* layanan VOD pada HSDPA adalah *delay end to end*, *packet loss* dan *throughput* yang dihitung dengan pendekatan teoretis dan pengamatan langsung menggunakan perangkat analisis jaringan (Wireshark). Wireshark adalah perangkat lunak untuk analisis paket jaringan (packet sniffer). Pada penelitian digunakan 3 jenis resolusi video, yakni 144p, 240p, 360p. Kualitas performansi layanan VOD di daerah Rumah Sakit Syaiful Anwar Malang menggunakan *High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)* adalah sesuai dengan standar ITU-T G.1010 untuk *delay* dan *packet loss ratio (PLR)*, jika menggunakan video dengan resolusi 144p, 240p.

Kata Kunci—VOD; HSDP; Wireshark; QoS; ITU-T G.1010.

I. PENDAHULUAN

Video on demand (VOD) adalah salah satu jenis dari video *streaming*. VOD menampilkan video yang sudah terlebih dahulu direkam (pre-encoded) atau disimpan dalam server [1]. Video on demand mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya aplikasi video on demand membutuhkan alokasi *bandwidth* yang lebih besar daripada aplikasi *streaming* suara [2]. Pada on-demand, ketika *bandwidth* multimedia lebih besar daripada kecepatan transmisi rata-rata yang diterima maka akan terjadi kongesti/tubrukan paket data sehingga menyebabkan beberapa paket hilang [2]. Menurut ITU-T G.1010, aplikasi video *streaming* membutuhkan nilai $<1\%$ PLR (*Packet Loss Ratio*) [3].

Oleh karena itu dibutuhkan suatu jaringan yang dapat memberikan *bandwidth* relatif lebar dengan *delay* relative kecil agar layanan VOD dapat dinikmati dengan nyaman. Jaringan *High Speed Downlink*

Packet Access (HSDPA) adalah jaringan dengan *bandwidth* 5 MHz dan *data rate* hingga 13,6 Mbps [4].

Teknologi ini memungkinkan operator untuk menawarkan layanan *mobile broadband* yang canggih seperti akses internet kecepatan tinggi, dapat disertai dengan fasilitas *gaming* atau *download* audio dan video dengan lebih cepat daripada dengan menggunakan WCDMA [4].

Pada tahun 2013, Dista Narulina Riyasa dengan judul Analisis Kualitas Jaringan Internet berbasis High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) pada wilayah urban di Kota Malang dengan Metode Drive Test telah melakukan penelitian performansi jaringan HSDPA untuk layanan web browsing di wilayah urban kota Malang. Drive Test adalah metode pengukuran kualitas radio menggunakan perangkat GPS, Laptop dan Handphone yang telah diinstal perangkat lunak Drive Test (misal: NEMO, TEMS). Pada penelitian tersebut Dista menggunakan metode drive test dan perhitungan secara teoretis untuk mendapatkan parameter-parameter QoS (Throughput, Delay dan Packet Loss). Nilai parameter dari hasil pengukuran menggunakan Drive Test dibandingkan dengan hasil perhitungan untuk mengetahui validitas data. Data hasil pengukuran parameter kemudian dibandingkan dengan standar dari TIPHON untuk mendapatkan kualitas performansi jaringan HSDPA.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dalam penelitian ini akan dirancang suatu sistem layanan VOD menggunakan jaringan HSDPA. Tujuannya adalah melakukan desain dan mengkaji penerapan VOD pada jaringan HSDPA untuk dilakukan pengembangan kinerja jaringan oleh operator pada daerah fasilitas umum seperti Rumah Sakit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam dasar teori ini dibahas tentang Video, Video On Demand, HSDPA, QoS, dan Rekomendasi dan Perangkat yang digunakan.

A. Video

Video adalah informasi yang berisi gambar dan

suara serta memiliki ciri khas gambar bergerak dengan kecepatan tertentu atau *frame per second* [5].

Parameter **video** menentukan kualitas video, berdasarkan Adobe pada tahun 2014 terdapat 3 parameter video, yakni :

- Frame per Second* (FPS), adalah banyaknya *frame* yang dimainkan tiap detik. Nilai FPS adalah 20 hingga 30 fps.
- Bitrate*, adalah nilai pengukuran dari bit yang dikirimkan per waktu tertentu.
- Resolution*, adalah ukuran gambar yang ditampilkan pada layar.

B. Video Streaming

Video streaming menurut Austerberry dalam bukunya *The Technology of Video & Audio Streaming* pada tahun 2005, terbagi menjadi 2, yakni *Live Streaming* (siaran secara langsung) dan *On Demand* (*filestreaming* sudah pernah direkam dahulu, kemudian disiarkan) [1].

Protokol Video Streaming

Protokol adalah aturan yang mengatur komunikasi 2 perangkat. Pada *video streaming* dibutuhkan protokol yang mengatur komunikasi antar perangkat, mulai dari server, jaringan hingga user. Pada penelitian digunakan model *layer TCP/IP.Streaming (ondemand)* membutuhkan protokol transmisi yang mengabaikan data eror (*unreliable*) dan teknis retransmisi data. Hal tersebut dihindari untuk mencegah *delay* yang relatif lama dan proses perulangan *frame* yang salah. Oleh karena itu pada *on demand streaming* digunakan protokol UDP. Sifat UDP dibandingkan TCP ditunjukkan tabel 2.1.

Tabel 2.1 TCP versus UDP

TCP	UDP
Connection Oriented	Connectionless
Reliable	Unreliable
Controls Data Flow	No flow control

Sumber: [1]

Selain menggunakan UDP, *on demand streaming* juga menggunakan protokol RTP dan IP. RTP menyediakan timestamp, nomor urut waktu kedatangan data. IP memberikan alamat tujuan dan *source* pada data [1].

C. Propagasi Gelombang Radio

Propagasi gelombang radio adalah proses perambatan gelombang radio dari antenna pemancar sampai ke antenna penerima. Pada saat proses propagasi gelombang radio, gelombang radio akan mengalami penurunan daya akibat *pathloss* [6]. *Pathloss* adalah rugi-rugi lintasan propagasi gelombang radio. Model propagasi *indoor* merupakan model propagasi luar ruangan. Profil lingkungan seluler yang dipakai pada model propagasi *indoor* ini adalah lingkungan urban. Lingkungan urban memiliki kepadatan penduduk yang tinggi dan ketinggian gedung yang beragam.

Model propagasi COST231-Walfisch Ikegami adalah propagasi *indoor* yang memperkirakan nilai

pathloss pada daerah dengan profil lingkungan seluler urban dan untuk *range frekuensi* 800-2000 MHz. Perhitungan nilai *pathloss* dirumuskan dalam persamaan 2.1 [7].

$$L = L_{fs} + L_{rts} + L_{lms} \quad (2.1)$$

Keterangan:

L = *loss* (dB)

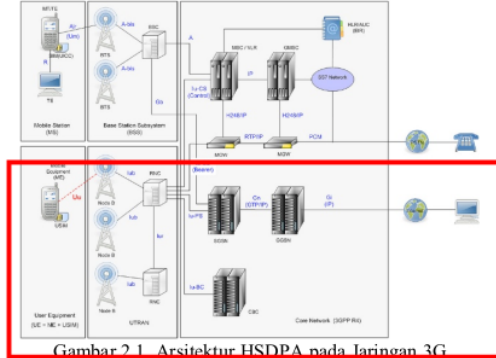
L_{fs} = *Free Space Loss* (dB)

L_{rts} = *Rooftop to Street Diffraction Loss* (dB)

L_{lms} = *Multiscreen Diffraction Loss* (dB)

D. High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

HSDPA adalah perkembangan dari jaringan radio UMTS. HSDPA memiliki peningkatan performansi kanal *downlink* paket data UMTS dan kemampuan untuk meningkatkan *data rate* puncak, pengurangan *delay*, dan peningkatan kapasitas [8]. Secara umum arsitektur UMTS terdiri dari tiga bagian, yaitu *user equipment*, *access network* dan *core network* seperti yang ditunjukkan gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arsitektur HSDPA pada Jaringan 3G

Sumber: [9]

E. Parameter Kinerja Jaringan

Menurut ITU-T E.800, *Quality of Service* (QoS) adalah performansi yang menentukan derajat kepuasan pengguna terhadap *service* yang diberikan oleh jaringan berdasarkan parameter-parameter. Pada penelitian digunakan parameter *delay end to end*, *packet loss* dan *throughput* dari sisi pengguna untuk menentukan QoS.

1. Delay Codec Video On Demand

Layanan VOD pada penelitian menggunakan *codec* audio dan video untuk *file* yang ditransmisikan, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi Audio dan Video Codec

Video CODEC	Bit Rate (kbps)	Maximum Payload (byte)	Delay CODE C (ms)
AVC/H.264	96-384	254	16-50
Audio CODEC	Bit Rate (kbps)	Maximum Payload (byte)	Delay CODE C (ms)
AAC	128	63	24-60

Sumber: [10] dan [11]

Besarnya nilai *delay codec* pada layanan VOD penelitian ditunjukkan oleh persamaan 2.2 [12].

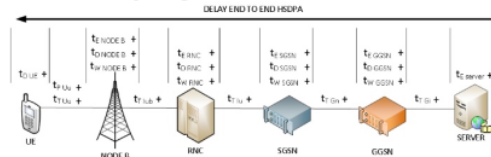
$$t_{\text{codec}} = t_{\text{audio}} + t_{\text{video}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

t_{codec} = Delay codec keseluruhan (s)
 t_{audio} = Delay codec audio (s)
 t_{video} = Delay codec video (s)

2. Delay End to End pada HSDPA

Delay pada jaringan HSDPA merupakan penjumlahan *delay-delay* dari ujung hingga ujung (server hingga *user equipment*), seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Delay End-to-End pada HSDPA
Sumber: [4]

Delay End to End berdasarkan gambar 2.2 dihitung sesuai dengan persamaan 2.3 [4].

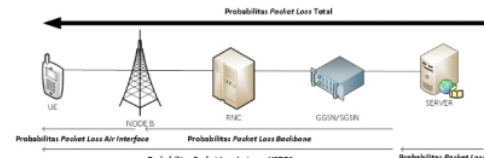
$$t_{\text{end to end}} = t_{\text{proses}} + t_t + t_p + t_w \quad (2.3)$$

Keterangan:

$t_{\text{end to end}}$ = Delay end-to-end pada HSDPA (s)
 t_{proses} = Delay proses, enkapsulasi dan dekapsulasi (s)
 t_t = Delay transmisi (s)
 t_p = Delay propagasi (s)
 t_w = Delay antrian (s)

3. Probabilitas PacketLoss pada HSDPA

Probabilitas *packet loss* merupakan besarnya kemungkinan jumlah paket data yang hilang pada saat transmisi.



Gambar 2.3 Probabilitas PacketLoss HSDPA
Sumber: [13]

Probabilitas *packet loss* pada HSDPA ditentukan berdasarkan probabilitas *packet loss* pada jaringan tersebut serta pada model layer (TCP/IP) sesuai dengan persamaan 2.4 [13].

$$P_{\text{tot}} = 1 - [(1 - P_{\text{net}})(1 - P_{\text{TCP/IP}})] \quad (2.4)$$

Keterangan:

P_{tot} = Probabilitas *packet loss* total
 P_{net} = Probabilitas *packet loss* jaringan HSDPA
 $P_{\text{TCP/IP}}$ = Probabilitas *packet loss* model layer TCP/IP

Probabilitas *packet loss* dalam persen dirumuskan dalam persamaan 2.5.

$$P_{\text{tot}}(\%) = P_{\text{tot}} \times 100 \% \quad (2.5)$$

Keterangan:

$P_{\text{tot}}(\%)$ = Probabilitas *packet loss* total (%)

4. Throughput

Throughput adalah banyaknya jumlah data yang diterima benar oleh penerima dari pengirim per satuan waktu. Throughput didapat dengan memperhatikan probabilitas *packet loss* (P) dan dihitung sesuai persamaan 2.6 [14].

$$Y = \frac{1}{t_v} = \frac{t_l \cdot P_{\text{tot}}}{t_l \cdot (1 - P_{\text{tot}})} \quad (2.6)$$

Keterangan:

Y = Throughput (paket/s)
 t_v = Waktu rata-rata transmisi untuk mengirimkan paket yang benar (s)
 t_l = Waktu transmisi sebuah paket data atau frame (s)
 P_{tot} = Probabilitas *packet loss* total
 α = Konstanta perbandingan

A. Rekomendasi dan Standar Perangkat

Rekomendasi dan standar perangkat berisi rekomendasi nilai dan besar parameter dari ITU dan standar perangkat sesuai buku, forum-forum internasional yang membahas perangkat untuk jaringan.

1. Rekomendasi ITU-T G.1010

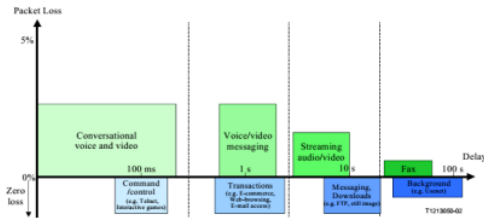
Aplikasi *streaming* memiliki standar *packet loss* yang diijinkan. Tabel 2.3 menunjukkan syarat *packet loss* dan *delay* pada gambar 2.4 berdasarkan ITU-T G.1010.

9

Tabel 2.3 Standar *Packet Loss* ITU-T G.1010 untuk Beberapa Aplikasi

Medium	Application	Degree of Symmetry	PLR
Audio	Conversational Voice	Two-way	< 3% Packet Loss Ratio (PLR)
Audio	Voice Messaging	One-way	< 3% PLR
Audio	High Quality Audio Streaming	One-way	<= 1% PLR
Video	Videophone	Two-way	< 1% PLR
Video	Streaming	One-way	<= 1% PLR

Sumber: [15]



Gambar 2.4 Mapping of User-Centric QoS Requirements
Sumber: [15]

2. Perangkat Keras

Perangkat keras yang dibahas adalah perangkat keras yang dibutuhkan pada penelitian. Pada penelitian diperlukan PC Server, Network Interface Card, Laptop, Kabel UTP dan konektornya, UPS serta monitor.

3. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian, yakni:

- Unreal Media Server. Perangkat lunak bersifat *freeware*, digunakan untuk media server video streaming.
- Unreal Media Player. Perangkat lunak bersifat *freeware*, digunakan untuk media pemutar video streaming.
- Wireshark. Perangkat bersifat *freeware*, digunakan untuk *packet sniffing* pada jaringan.
- CentOS. Sistem operasi untuk server berbasis *opensource* yang dikembangkan oleh komunitas RHEL.

4. Standar Perangkat

Perangkat keras baik pada sisi server, jaringan operator maupun pengguna memiliki standar terkait pemrosesan data maupun *interface* untuk penelitian dan ditunjukkan tabel 2.4

Tabel 2.4 Standar Perangkat

Standar	Kuantitas	Sumber
ServerInterface	10Gbps over ethernet	HP Proliant Server
SGSN bitrate	With GGSN 2.4 Gbps (3G) 380 Mbps (2G) With RNC STM-1, 155,52 Mbps	Alcatel Lucent 7500
GGSN bitrate interface	25 Gbps	Alcatel Lucent 7750
RNC bitrate interface	STM-1, 155,52 Mbps	Ericsson 3810 review vol.2
Node B bitrate interface	STM-1, 155,52 Mbps	Ericsson 3810 review vol.2

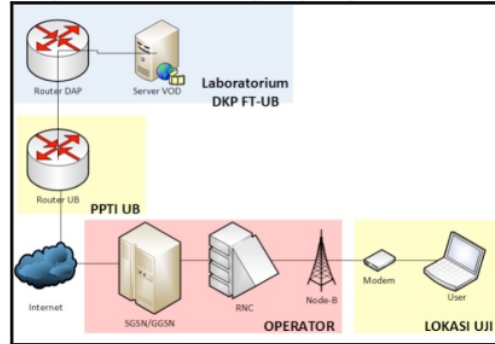
III. METODE PENELITIAN

Tahapan dalam penelitian meliputi pengambilan data (data sekunder dan data primer), analisis data, pengolahan data, pembahasan dan hasil dan penarikan kesimpulan. Penelitian mengkaji layanan VOD pada jaringan HSDPA yang bersifat aplikatif dengan lokasi

uji wilayah Rumah Sakit Syaiful Anwar.

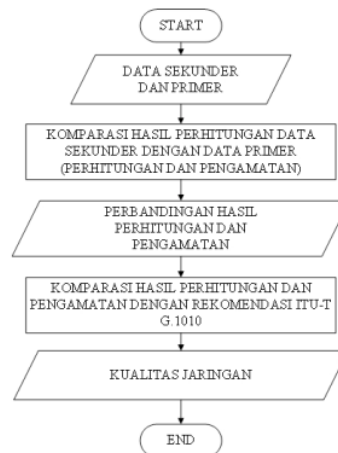
Data-data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data sekunder bersumber dari jurnal ilmiah, skripsi, buku, internet dan forum-forum resmi yang membahas HSDPA. Data sekunder juga menghasilkan data perhitungan nilai-nilai parameter (*delay end to end*, *packetloss* dan *throughput*) melalui pendekatan teoretis.

Data primer didapatkan dari hasil pengamatan nilai-nilai parameter kinerja jaringan (*delay end to end*, *packet loss* dan *throughput*) menggunakan Wireshark pada sisi pengguna. Rancangan konfigurasi perangkat ditunjukkan dalam blok diagram pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Rancangan Konfigurasi Jaringan

Data hasil pengamatan digunakan sebagai bahan pembahasan. Pembahasan dilakukan dengan membandingkan nilai *delay end to end*, *packet loss*, dan *throughput* untuk tiap resolusi vide (144p, 240p, dan 360p). Langkah-langkah dalam menentukan kualitas jaringan ditunjukkan gambar 3.2.

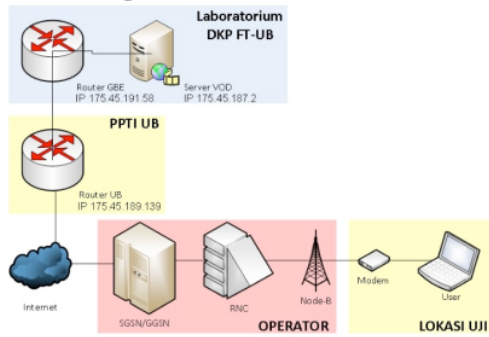


Gambar 3.2 Diagram Alir Kualitas Layanan VOD pada HSDPA pada Wilayah Urban di Kota Malang

IV. PEMBAHASAN DAN HASIL

Pembahasan yang dilakukan meliputi perancangan, instalasi, pengujian hingga analisis kualitas layanan VOD.

1. Perancangan



Gambar 4.1 Konfigurasi Jaringan Penelitian

Gambar x. menunjukkan konfigurasi jaringan layanan VOD yang dilewatkan pada jaringan HSDPA milik operator PT. Telekomunikasi Seluler. Server VOD diletakkan di laboratorium DAP FT-UB, sedangkan pengguna berada di wilayah RSSA kota Malang.

2. Pengujian

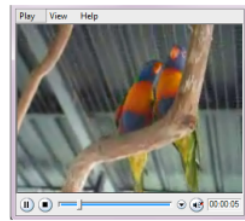
Pengujian dilakukan 2 tahap, yakni pengujian koneksi dan pengujian *streaming*. Pengujian koneksi dilakukan untuk mengetahui koneksi antara server hingga pengguna. Hasil pengujian koneksi ditampilkan gambar 4.2.

```
Pinging 175.45.187.2 with 32 bytes of data:
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=47ms TTL=116
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=50ms TTL=116
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=41ms TTL=116
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=47ms TTL=116
Ping statistics for 175.45.187.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 47ms, Maximum = 51ms, Average = 51ms
```

Gambar 4.2 Hasil Uji Koneksi

Koneksi antara server dan pengguna telah terhubung. Hal ini dibuktikan pengguna mampu mengirimkan paket data 4 kali kepada server dan di-reply kembali oleh server sebanyak 4 kali dengan *lost* 0%.

Pengujian *streaming* VOD melalui HSDPA bertujuan untuk mengetahui layanan VOD dari server dapat atau tidak dimainkan oleh *mediaplayer* pada sisi *user*. Hasil pengujian *streaming* ditampilkan gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Uji Streaming

Gambar 4.3 menunjukkan *streaming* telah berhasil dibangun. Berdasarkan hasil pengujian, proses *buffering* yang terjadi sebesar 10 detik.

3. Hasil

i. Pathloss

Model propagasi COST 231-Walfisch Ikegami digunakan untuk menyempurnakan model propagasi sebelumnya, yakni Okumura Hata. Model propagasi COST 231-Walfisch Ikegami valid untuk frekuensi 800 hingga 2000 MHz, tinggi antenna Tx 30 m hingga 200 m, tinggi antenna ms 1 m hingga 10 m dan jarak sel hingga 20 km [8]. Ketinggian gedung yang diamati pada penelitian adalah 40 m (RSSA Malang, 2014).

Parameter yang digunakan dalam perhitungan, antara lain:

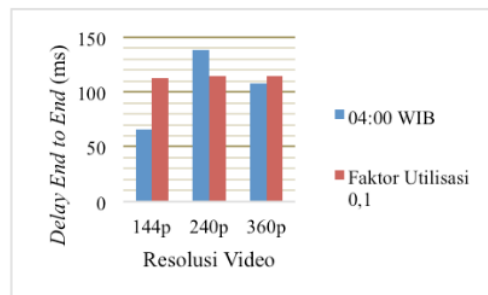
- Frekuensi *carrier*, $f_c = 1900$ MHz
- Lebar jalan, $w = 24$ meter
- Jarak antar gedung, $b = 44$ meter
- Sudut insiden, $\Phi = 59^\circ$
- Tinggi antenna Node B, $h_b = 40$ meter
- Tinggi antenna ms, $h_m = 1,5$ meter
- Tinggi gedung uji, $h_r = 21$ meter
- Jarak Tx – Rx, $d = 0,24$ km
- Delta h_m ($h_r - h_m$), $\Delta h_m = 21 - 1,5$
 $\Delta h_m = 19,5$ meter
- Delta h_b ($h_b - h_r$), $\Delta h_b = 40 - 21$
 $\Delta h_b = 19$ meter
- $Pathloss = 85,58 \text{ dB} + 31,43 \text{ dB} + 28,82 \text{ dB}$
 $= 145,83 \text{ dB}$

ii. QoS (*Delay End to End, Throughput, Packet Loss*)

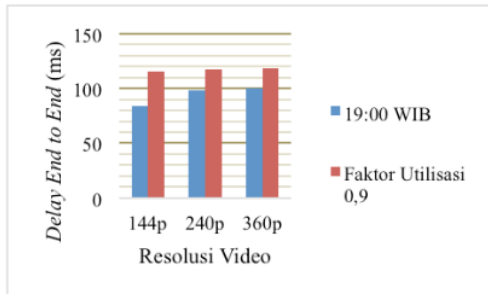
Data hasil pengamatan dan pengukuran menunjukkan nilai-nilai parameter *delay end to end*, *packet loss* dan *throughput* berdasarkan hasil pengamatan langsung menggunakan Wireshark dan hasil perhitungan dengan pendekatan teori. Hasil pengamatan dan perhitungan ditunjukkan tabel 4.1, 4.2, 4.3.

Tabel 4.1 Perbandingan *Delay End to End*

ρ	<i>Delay End to End</i> (ms)					
	Video 144p		Video 240p		Video 360p	
	Teori	Praktek	Teori	Praktek	Teori	Praktek
0,1	113,05	65,64	114,14	138,17	114,31	107,58
0,9	115,65	84,09	117,89	98,71	118,18	99,74



Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Nilai *Delay End to End* berdasarkan Teori dan Pengamatan untuk Jam Renggang (04:00 WIB) dan Faktor Utilisasi 0,1

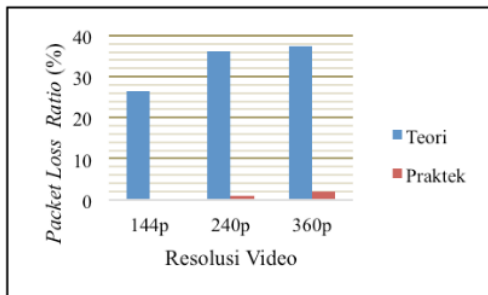


Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Nilai *Delay End to End* berdasarkan Teori dan Pengamatan untuk Jam Sibuk (19:00 WIB) dan Faktor Utilisasi 0,9

Tabel 4.1. menunjukkan perbandingan nilai *delay end to end* secara pendekatan teoretis dan hasil pengamatan. Faktor utilisasi diasumsikan penggunaan jaringan saat jam sibuk atau renggang. Faktor utilisasi 0,1 merupakan penggunaan jaringan saat jam tidak sibuk. Faktor utilisasi 0,9 menunjukkan penggunaan jaringan saat jam sibuk.

Tabel 4.2. Perbandingan *Packet Loss*

No.	Resolusi Video	Packet Loss (%)	
		Teori	Praktek
1	144p	26,5612	1%
2	240p	36,2912	1%
3	360p	37,2945	0%

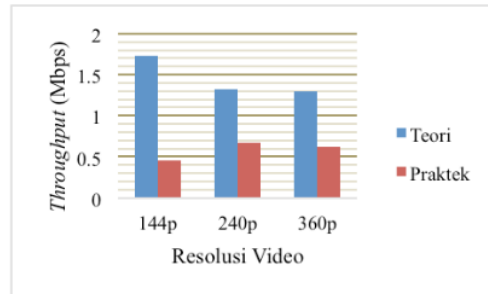


Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Nilai *Packet Loss* berdasarkan Teori dan Pengamatan.

Tabel 4.2 menunjukkan perbandingan *packet loss* yang terjadi untuk masing-masing resolusi video berdasarkan hasil perhitungan dengan pendekatan teoretis dan hasil pengamatan.

Tabel 4.3. Perbandingan *Throughput*

No.	Resolusi Video	Throughput (Mbps)	
		Teori	Praktek
1	144p	1,725541	0,7125
2	240p	1,327917	0,5393
3	360p	1,291993	0,3159



Gambar 4.7. Grafik Perbandingan Nilai *Throughput* berdasarkan Teori dan Pengamatan.

Tabel 4.3 menunjukkan nilai *throughput* yang terjadi untuk masing-masing resolusi video berdasarkan hasil perhitungan dengan pendekatan teoretis dan hasil pengamatan.

Dari hasil yang ditunjukkan tabel 4.14.2, 4.3 dapat diketahui bahwa:

- Semakin besar resolusi video yang digunakan, maka semakin besar nilai *delay* total atau *delay end to end*. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil perhitungan pada saat faktor utilisasi terbesar, yakni 0,9, video dengan resolusi 144p memiliki nilai *delay end to end* 115,64 ms, video dengan resolusi 240p memiliki nilai *delay end to end* 117,88 ms sedangkan video dengan resolusi 360p memiliki nilai *delay end to end* 118,18 ms.
- Semakin besar faktor utilisasi, maka semakin besar nilai *delay end to end*. Hal tersebut ditunjukkan berdasarkan hasil perhitungan, untuk video 144p, saat faktor utilisasi 0,1 memiliki nilai *delay end to end* 113,04 ms dan pada saat faktor utilisasi 0,9 memiliki nilai *delay end to end* 115,64 ms. Untuk video 240p, saat faktor utilisasi 0,1 memiliki nilai *delay end to end* 114,13 ms dan pada saat faktor utilisasi 0,9 memiliki nilai *delay end to end* 117,18 ms. Untuk video 360p, saat faktor utilisasi 0,1 memiliki nilai *delay end to end* 114,31 ms dan pada saat faktor utilisasi 0,9 memiliki nilai *delay end to end* 118,18 ms.
- Semakin besar nilai resolusi video, maka semakin besar nilai probabilitas *packet loss* yang terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan dari hasil perhitungan, bahwa video dengan resolusi 144p memiliki nilai probabilitas *packet loss* 26,56% dan video dengan resolusi 240p memiliki nilai probabilitas *packetloss* 36,29 % dan video dengan resolusi 360p memiliki nilai probabilitas *packetloss* 37,29%.
- Semakin besar nilai resolusi video yang digunakan, maka semakin kecil nilai *throughput* yang didapatkan, karena semakin besar nilai resolusi video menyebabkan nilai

probabilitas *packetloss* semakin besar sehingga menurunkan kecepatan pengguna untuk mendapatkan data dalam keadaan benar. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil perhitungan pada saat menggunakan video dengan resolusi 144p maka probabilitas *packet loss* yang terjadi adalah 26,56% dengan *throughput* sebesar 1,72 Mbps. Sedangkan pada saat menggunakan video dengan resolusi 240p maka probabilitas *packet loss* yang terjadi sebesar 36,29% dan *throughput* yang didapatkan sebesar 1,32 Mbps. Untuk video dengan resolusi 360p, probabilitas *packet loss* yang terjadi sebesar 37,29% dengan nilai *throughput* sebesar 1,29 Mbps.

Kemudian, berdasarkan hasil perbandingan antara nilai parameter (*delay end to end*, *packet loss* dan *throughput*) dari hasil pendekatan secara teoretis dan pengamatan dapat diketahui bahwa:

- 1) Terjadi perbedaan nilai antara hasil pengamatan dengan hasil perhitungan secara teoretis. Hasil pengamatan nilai parameter secara langsung dengan Wireshark memberikan hasil yang lebih buruk dibandingkan hasil perhitungan secara teoretis. Hal ini dapat terjadi karena berbagai hal, diantaranya:
 - Karakteristik *switching*. Pada hasil pengamatan, konfigurasi jaringan bersifat *Packet Switch* (PS) karena setiap paket data tidak melewati rute yang sama. Sedangkan pada pendekatan teoretis, konfigurasi jaringan *fix* untuk seluruh paket data.
 - Rute data. Pada hasil pengamatan, rute yang berbeda untuk setiap paket data membuat nilai *delay* yang berbeda dan tidak dapat dihitung secara langsung. Pada pendekatan teoretis, rute yang dilewati selalu sama dan perhitungan dengan pendekatan teoretis hanya untuk jalur yang sama tanpa memperhatikan jalur lain yang sebenarnya dilewati paket data lain.
 - Jumlah *node*. Pada hasil pengamatan, jumlah *node* yang dilewati tiap paket data berbeda-beda. Perbedaan jumlah *node* yang dilewati paket data menyebabkan nilai parameter-parameter juga berubah. Pada pendekatan teoretis, jumlah *node* yang dilewati paket data hanya 6, yakni server, GGSN, SGSN, RNC, Node B, UE.
- 2) Untuk 3 file video dengan resolusi berbeda (144p, 240p, 360p), Besarnya nilai *delay end to end* dan *packet loss* dari hasil perhitungan saat faktor utilisasi bernilai 0,1

hingga faktor utilisasi bernilai 0,9 sesuai dengan standar ITU-T G.1010.

- 3) Hasil pengamatan nilai *delay end to end* ketiga file video (144p, 240p, 360p) sesuai dengan standar ITU-T G.1010.
- 4) Hasil pengamatan nilai *packet loss* file video (144p, 240p) sesuai dengan standar ITU-T G.1010

V. KESIMPULAN

5. Konfigurasi sistem *Video on Demand* (VOD) pada *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) telah berhasil dibangun. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil pengujian untuk koneksi maupun komunikasi *streaming*.
6. Kualitas layanan VOD berdasarkan parameter *delay end to end*, *packet loss* dan *throughput* memiliki perbedaan nilai untuk hasil perhitungan dengan pendekatan teoretis dan hasil pengamatan. Perbedaan nilai parameter terjadi karena perbedaan konsep *switching*, rute data dan jumlah *node* yang dilewati.
7. Untuk 3 file video dengan resolusi berbeda (144p, 240p, 360p), Besarnya nilai *delay end to end* dari hasil perhitungan saat faktor utilisasi bernilai 0,1 hingga faktor utilisasi bernilai 0,9 sesuai dengan standar ITU-T G.1010, yakni *delay end to end* < 10 s. Sedangkan berdasarkan hasil pengamatan, nilai *delay end to end* layanan VOD untuk ketiga resolusi video pada HSDPA memenuhi standar ITU-T G.1010 (*delay end to end* < 10 s).
8. Nilai *packet loss* untuk file resolusi video 360p berdasarkan hasil perhitungan tidak memenuhi standar ITU-T G.1010 karena memiliki *Packet Loss Ratio* (PLR) > 1 %. Berdasarkan pengamatan, nilai *packet loss* untuk video dengan resolusi 144p dan 240p sesuai dengan standar ITU-T G.1010 karena memiliki $PLR \leq 1\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- [37] Austerberry, David. 2004. *THE TECHNOLOGY OF VIDEO AND AUDIO STREAMING* (2ND EDITION). USA: Focal Press.
- [38] Apostolopoulos, John G. 2001. *Video Communication and Video Streaming*. Hewlett-Packard Laboratories: Streaming Media System Group.
- [39] ITU-T Study Group 12. 2001. *Recommendation G.1010 - End User Multimedia QoS Categories*. (Online). (<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.1010-200111-I/en>), diakses tanggal 19 November 2013).
- [40] Holma, Harri & Toskala, Antti. 2006. *HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications*. England: John Wiley and Sons, Ltd.
- [41] Hull, Steve. 2014. Video and its component. (Online). (<http://jiscdigitalmedia.ac.uk>), diakses tanggal 1 Maret 2014).
- [42] Rappaport, Theodore S. 2002. *Wireless Communication: Principles and Practice*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- [43] Garg, Vijay. 2007. *Wireless Communications and Networking*. San Francisco: Morgan Kaufmann Press.

- [44] Wardhana, Lingga. 2011. *2G/3G RF Planning and Optimization for Consultant*. Jakarta: Nulisbuku.
- [45] Smith, Clint. 2006. *3G Wireless Networks, Second Edition*. Singapore: McGraw Hill.
- [46] IETF. 2003. R3640.(Online). (<http://www.ietf.org>, diakses tanggal 2 Februari 2014).
- [47] IETF. 2005. RFC 3984. (Online). (<http://www.ietf.org>, diakses tanggal 2 Februari 2014).
- [48] Simpson, Wes. 2008. *Video Over IP Second Edition*. USA: Elsevier, Inc.
- [49] Anurag, Kumar et.al. 2008. *Wireless Networking*. USA: Morgan Kaufmann.
- [50] Schwartz, dan Mischa. 1987. *Telecommunication Network: Protocols, Modelling and Analysis*. USA: Addison-Wesley.
- [51] ITU-T. 2003. *Recommendation ITU-T G.114: One-Way Transmission Time*. (Online). (<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.114-200305-I/en>, diakses tanggal 19 November 2013).

Disain dan Analisis Performansi *Half Rate* Pada Komunikasi Wireless Untuk Optimasi Jaringan Menggunakan *Net Auto Care (NAC)*

Asri Wulandari

Program Studi Teknik Telekomunikasi
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta
Depok, Indonesia
asri_ftaub@yahoo.co.id

Mohamad Fathurahman

Program Studi Teknik Telekomunikasi
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta
Depok, Indonesia
moh.fathurahman@gmail.com

Abstract—Meningkatnya jumlah pelanggan sebuah operator seluler tidak hanya berdampak pada peningkatan *revenue*, namun juga berakibat pada naiknya jumlah panggilan. Panggilan yang gagal seringkali terjadi di daerah perkotaan yang disebabkan oleh kepadatan trafik dan *overlap* pelanggan dalam suatu sistem. Beberapa pelanggan (*subscriber*) harus dapat menempati kanal trafik yang terbatas secara bersamaan, sehingga berpengaruh pada indikator kualitas suara yang dinyatakan dengan *Speech Quality Indicator (SQI)* dan indikator performansi yang dinyatakan dengan *Blocking Rate*. Namun panggilan gagal yang dialami oleh operator seluler dapat disiasati melalui optimasi jaringan menggunakan *half-rate* dengan fitur *Dynamic Half Rate Allocation (DHA)* yang mengatur nilai *Adaptive Multi Rate (AMR)*. Hasil analisa trafik kanal pada saat *half rate* dengan menggunakan NAC menyebabkan penurunan alokasi trafik sebesar 40% sehingga dapat dilakukan penambahan kapasitas dan dari hasil analisa *SQI* pada kondisi *half-rate* naik sebesar 15 % dibandingkan tanpa penggunaan NAC.

Kata Kunci—*SQI; half-rate; NAC; TCH; QoS; KPI*

I. PENDAHULUAN

Layanan telekomunikasi bergerak berkembang dengan cepat. Kebutuhan layanan yang tinggi dan kapasitas yang besar menjadi masalah yang sangat penting. Layanan *mobile communication* untuk komunikasi suara terutama banyak disediakan oleh teknologi 2G atau *Global System for Mobile Communication (GSM)*. Pada teknologi komunikasi seluler khususnya teknologi GSM, informasi suara ditransmisikan melalui media gelombang radio sebagai penghantar. Sinyal suara merupakan sinyal yang ditransmisikan, dimana setelah mempertimbangkan sumber-sumber penting pada sistem komunikasi yang ada didalamnya, maka pengiriman sinyal suara ke tujuan menjadi suatu proses yang lambat, tidak efisien dan tidak fleksibel [1].

Permasalahan yang muncul akibat digunakannya trafik secara bersamaan pada kanal trafik yang terbatas (*TCH*) sangat mempengaruhi kualitas suara yang dinyatakan dengan *Speech Quality Indicator (SQI)* dan berpengaruh pula terhadap performansi jaringan yang dinyatakan dengan *Blocking Rate* [2]. Keduanya merupakan parameter yang digunakan pada jaringan 2G untuk mengukur tingkat *availability* jaringan dalam memberikan *QoS (Quality of Service)* yang baik. Jenis

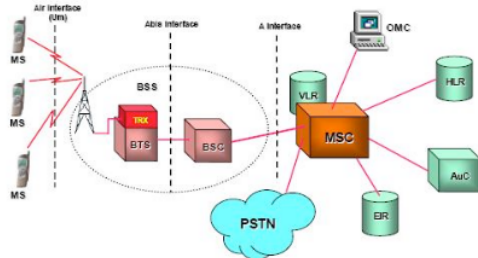
trafik yang mampu menyelesaikan permasalahan keterbatasan kanal trafik adalah dengan menggunakan *half-rate channel*, dengan memperhatikan nilai *SQI* yang digunakan agar tetap memenuhi nilai *Key Performance Indicator (KPI)* yang baik [3].

Penelitian ini mendesain dan menganalisis sistem jaringan yang dilakukan pada GSM 900/1800 pada aplikasi untuk informasi suara dengan menggunakan perangkat NAC (*Net Auto Care*). Hasil yang diperoleh dari disain dan analisis tersebut bertujuan untuk mengukur dan meningkatkan performansi jaringan seluler yang masih dirasa sangat kurang dan terbatas pada *coverage* (cakupan area) tertentu saja. Parameter yang diamati untuk meningkatkan performansi jaringan adalah *SQI*, *TCH Availability*, *TCH Total Trafik*, *TCH Congestion* dan *TCH Drop Ratio*. Fitur yang digunakan untuk mengatur nilai *half-rate* adalah *Dynamic Half Rate Allocation (DHA)* dengan mengatur nilai *Adaptive Multi Rate (AMR)* dan *Non Adaptive Multi Rate (NAMR)* dalam kondisi *full rate*.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Konsep Jaringan Seluler 2G (GSM)

Sistem Jaringan *Global System for Mobile Communication (GSM)* terdiri dari beberapa *cell (sel)*. Jangkauan layanan wilayah sebuah *cell* atau *coverage* berbeda dari satu sel dengan sel yang lain. Pada daerah pedesaan yang jarang penduduknya *coverage area* sebuah sel dapat sangat luas mencapai 3 - 8 km tergantung dari sebaran pelanggan (*subscriber*) dan karakteristik sel (tinggi tower, tinggi antenna, *beamwidth* dll), tetapi pada daerah perkotaan yang sangat padat penduduknya *coverage area* sebuah sel hanya 1 - 3 km dan harus mampu mengatasi kapasitas pelanggan yang besar [4]. Jaringan GSM merupakan suatu sistem komunikasi seluler berdasarkan standar telepon yang ada dan beroperasi pada frekuensi 900 MHz, dengan layanan komunikasi dimana pelanggan dapat bergerak bebas dalam area layanannya tanpa adanya pemutusan hubungan dan dapat digunakan dimana saja [5]. Gambar 1 berikut menunjukkan arsitektur dari jaringan GSM.



Gambar 1. Arsitektur Jaringan GSM [4]

Untuk mengatasi mobilitas pengguna dan menjaga koneksi dengan jaringan tetap berjalan baik dalam keadaan *idle mode* (tidak melakukan panggilan) atau *dedicated mode* (sedang melakukan panggilan), maka terdapat proses-proses dasar yang terjadi pada jaringan GSM seperti [4] :

1. **Cell Selection** : proses sinkronisasi awal saat *mobile station* (MS) dinyalakan sehingga terhubung ke operator jaringan seluler dan jaringan dapat digunakan sepenuhnya
2. **Cell Reselection** : proses perpindahan *mobile user* dari satu *cell* ke *cell* yang lain pada saat *idle mode* atau MS tidak sedang mengadakan panggilan.
3. **Handover** : proses perpindahan *mobile user* dari satu *cell* ke *cell* yang lain pada saat *dedicated mode* atau MS sedang melakukan panggilan
4. **Location Update** : proses untuk mengurangi jumlah proses *paging* yang harus dilakukan oleh sistem jaringan seluler.
5. **Outgoing/Incoming Call** : proses menerima dan melakukan panggilan telepon

B. Dynamic Half-Rate Allocation (DHA)

Dynamic Half-Rate merupakan fitur yang diimplementasikan pada perangkat NAC (*Net Auto Care*) yang digunakan untuk mengatur nilai *half-rate* dan *full-rate*. DHA terdiri atas dua jenis, yaitu [6] :

1. **Adaptive Multi Rate (AMR)**
Adaptive Multi Rate (AMR) merupakan salah satu sistem dalam sistem kompresi suara, dimana pada sistem ini nilai *half-rate* dan *full-rate* dapat diatur menyesuaikan dengan keadaan trafik.
2. **Non Adaptive Multi Rate (NAMR)**
NonAdaptive Multi Rate (AMR) merupakan salah satu bentuk sistem dalam sistem kompresi suara, dimana pada sistem ini hanya akan mengatur nilai *half-rate* agar dapat sesuai dengan keadaan trafik.

C. Parameter-parameter Performansi Jaringan

Terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan untuk menentukan performansi jaringan. Parameter tersebut meliputi :

1. Speech Quality Indicator (SQI)

SQI merupakan nilai *voice quality index* yang dijadikan acuan untuk menentukan kualitas informasi suara yang dikirimkan. Kategori *Speech Quality Indicator* (SQI) dalam pengukuran keberhasilan dan kejernihan suatu panggilan meliputi [2] :

- **SQI Good Ratio** : Nilai *SQI* ini menunjukkan nilai presentase dari kualitas suara yang dikategorikan baik.
 - **SQI Bad Ratio** : Nilai *SQI* ini menunjukkan nilai presentase dari kualitas suara yang dikategorikan buruk.
 - **SQI Accepted Ratio** : Nilai *SQI* ini menunjukkan nilai presentase kualitas suara yang masih bisa diterima dalam kondisi baik, walaupun nilainya masih berada dibawah standar KPI yang ada dari seluruh jumlah total *SQI subcell* pada jaringan GSM 900/1800
2. **Traffic Channel (TCH) Availability**
Parameter *TCH Availability* merupakan suatu parameter yang menunjukkan nilai dari kapasitas TCH yang tersedia
 3. **Traffic Channel (TCH) Congestion Ratio**
Parameter *TCH Congestion Ratio* ini merupakan presentase kegagalan panggilan karena tidak mendapatkan kanal TCH
 4. **Traffic Channel (TCH) Total Trafik**
Parameter *TCH Total Traffic* ini merupakan suatu parameter yang menunjukkan tingkat nilai kanal TCH yang digunakan oleh pelanggan dalam satu Erlang
 5. **Traffic Channel (TCH) Drop Ratio**
Parameter *TCH Total Traffic* ini merupakan suatu parameter yang menunjukkan tingkat kegagalan *user* dalam melakukan panggilan setelah berhasil dilakukan namun berakhir tanpa pemutusan panggilan secara normal.

III. METODOLOGI

A. Disain Sistem Jaringan



Gambar 2. Desain Model Sistem Optimasi Kapasitas

Pada desain jaringan ini, seperti tampak pada Gambar 2 di atas, perangkat NAC mempunyai standar kerja yang disebut dengan *Capacity Optimization Expert* (COX). Fungsi COX pada optimasi *half-rate* mengacu pada beberapa parameter yaitu : *congestion*, *resources demand* dan *traffic prediction*. Kondisi jaringan yang perlu dilakukan optimasi meliputi :

1. Sel dengan *high congestion rate* di atas 2%,

- Sel dengan *medium congestion rate* di atas 0,1% dan tidak lebih dari 2%,
- Sel dengan *potential congestion* dimana kondisi jaringan mendekati overload dengan nilai trafik > 95%.

Optimasi DHA sistem jaringan komunikasi GSM 900/1800 untuk aplikasi informasi suara yang menggunakan perangkat NAC (*Net Auto Care*) dilakukan berdasarkan data statistik trafik. Sistem akan mengumpulkan dan berhubungan dengan data statistik tentang trafik. Melalui data tersebut sistem akan menganalisa kapasitas seperti misalnya sel-sel dengan *unreasonable capacity* kemudian akan dievaluasi dan ditentukan apakah sel-sel tersebut memiliki potensi untuk dilakukan optimasi kapasitasnya. Skema untuk melakukan penyesuaian kapasitas dilakukan dengan cara : untuk sel yang mengalami kongesti, trafik yang berada diantara sel akan dialihkan ke sel yang tanpa kongesti berdasarkan mekanisme *result balance* dan mengoptimalkan parameter jaringan demi terwujudnya mode *balanced idle/busy*. Untuk sel yang tidak mengalami kongesti pengaruh *result balance* dihilangkan dan mengoptimalkan parameter jaringan demi terwujudnya mode *balanced idle/busy*.

B. Pemodelan Sistem Jaringan

Dalam melakukan penelitian ini model dari DHA menggunakan N parallel identical traffic channel ($0 < K < N$), tanpa ada ruang tunggu untuk informasi suara. Panggilan datang akan dilayani sistem pada saat kanal tersedia dan tidak terjadi *block call*, serta mengacu dari proses *Poisson* yang dinyatakan sebagai kecepatan λ . Nilai probabilitas panggilan yang terjadi pada saat kondisi *half rate* dinyatakan dengan π_h . Waktu yang digunakan dalam proses (*holding time*) diasumsikan bebas, dengan bentuk distribusi eksponensial dimana variabelnya dinyatakan sebagai μ baik untuk *half rate* maupun *full rate*.

Dengan nilai *half rate* sebesar ρ_h maka besar tambahan trafik yang didapatkan adalah sebesar:

$$\rho_f = \frac{\lambda_f}{\mu} = \frac{\lambda_f \pi_h}{\mu} \quad (1)$$

$$\rho_h = \frac{\lambda_h}{\mu} = \frac{\lambda_h \pi_h}{\mu} \quad (2)$$

Dan total traffic (ρ) diberikan oleh :

$$\rho = \rho_f + \rho_h = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3)$$

Dimana ρ_f adalah trafik pada kondisi *full rate* dan ρ_h adalah trafik pada kondisi *half rate*. Variable K yang digunakan untuk simulasi menyatakan nilai *threshold* dari operator yang menunjukkan penggunaan *half rate* atau *full rate* pada sistem jaringan.

Dengan menganalisa pemodelan sistem berdasarkan fungsi waktu t , maka nilai sistem trafik jaringan dapat dianalisis menggunakan metode Markov sehingga didapatkan utilitas jaringan $U(t)$, yang digambarkan dalam tiga variabel yaitu :

- $X_f(t)$ menyatakan nilai total panggilan dalam kondisi *full rate*

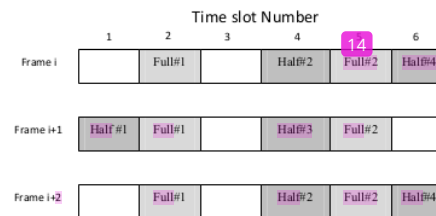
- $X_h(t)$ menyatakan nilai total panggilan dalam kondisi *half rate*
- $Y(t)$ menyatakan jumlah pengalokasian *time slot*

Nilai utilitas jaringan sebesar yang didapatkan dari ketiga variabel diatas dapat dinyatakan sebagai :

$$U(t) = X_f(t) + Y(t) + \frac{1}{2} (X_h(t) + Y(t))$$

$$X_f(t) = \frac{1}{2} (X_h(t) + Y(t)) \quad (4)$$

Penempatan kondisi *half rate* dan *full rate* dalam alokasi *time slot* pada analisa aplikasi informasi suara dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Alokasi Time Slot pada DHRA

Parameter Kinerja Disain dan Analisis Jaringan

Parameter kinerja disain dan analisis performansi yang dilakukan secara lengkap meliputi :

- Nilai *Speech Quality Indicator (SQI)* : Mempunyai nilai *voice quality index* sesuai standar KPI yaitu : **SQI Good Ratio** sebesar > 80% atau **SQI Accepted Ratio** sebesar 81 – 85 %
- Nilai *TCH Congestion Rate* : Mempunyai nilai *TCH Congestion Rate* sesuai standar KPI yaitu : **Good** (baik) bila nilainya < 1 % atau **Accepted** (normal) bila nilainya sebesar 1 – 2 %
- Nilai *TCH Drop Rate* : Mempunyai nilai *TCH Drop Rate* sesuai standar KPI yaitu : **Good** (baik) bila nilainya < 1 % atau **Accepted** (normal) bila nilainya sebesar 1 – 2 %

Nilai standarisasi dari *Key Performance Indicator* (KPI) yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan hasil akhir kualitas yang didapatkan dari disain dan analisis performansi jaringan dapat dilihat pada Tabel 1

TABLE II. KEY PERFORMANCE INDIKATOR (KPI)

No	PARAMETER GSM	PERFORMANSI STANDAR (%)		
		BAIK	NORMAL	KURANG
1.	<i>TCH Congestion Rate</i>	< 1,0	1,0 – 2,0	> 2,0
2.	<i>TCH Drop Rate</i>	< 1,0	1,0 – 2,0	> 2,0
3.	<i>SQI</i>	> 80	81 – 85	< 75

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

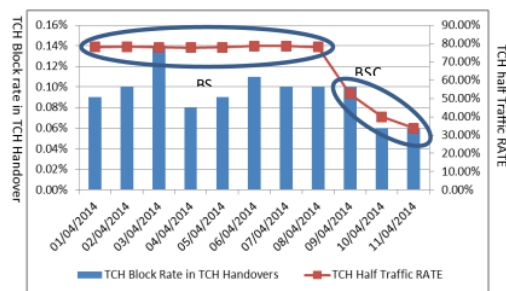
A. TRAFFIC CHANNEL (TCH) AVAILABILITY

Hasil analisa kondisi trafik *channel* yang terjadi pada saat dilakukan proses *half-rate* dapat dilihat pada Tabel II. Pada tabel tersebut terlihat bahwa dengan pemakaian NAC untuk melakukan *half-rate* ataupun tanpa NAC diperoleh nilai *TCH block rate* yang relatif baik, yaitu kurang dari 1%. Namun untuk kondisi *TCH Handover* penggunaan NAC menurunkan *block rate* sebesar 0,03 %. Kedua kondisi ini akan bisa didapatkan dengan syarat *cell* tidak berada dalam kondisi *overload*. Jika *cell* mempunyai kondisi yang *overload*, pengaplikasian *half-rate* bisa meningkatkan nilai *blocking rate* menjadi > 2%. Dari tabel juga terlihat bahwa penambahan NAC pada BSC menyebabkan penurunan alokasi trafik sebesar 40 % sehingga dapat dilakukan penambahan kapasitas lebih besar.

TABLE III. HASIL ANALISA TRAFFIC CHANNEL (TCH)

TOOL	Date	TCH Block Rate	TCH Block Rate in TCH Handovers	TCH Half Traffic RATE	K3014:Traffic Volume on TCH
BSC	01/04/2014	0.03%	0.09%	77.99%	69371.25
	02/04/2014	0.03%	0.10%	78.28%	71710.11
	03/04/2014	0.04%	0.14%	77.92%	70400.95
	04/04/2014	0.02%	0.08%	77.66%	68555.36
	05/04/2014	0.03%	0.09%	77.86%	70230.70
	06/04/2014	0.02%	0.11%	78.53%	51205.46
	07/04/2014	0.02%	0.10%	78.61%	45022.07
	08/04/2014	0.02%	0.10%	77.99%	67358.55
BSC+NAC	09/04/2014	0.02%	0.10%	52.58%	71245.14
	10/04/2014	0.02%	0.06%	39.89%	71056.27
	11/04/2014	0.02%	0.06%	33.79%	70409.36

Data yang terdapat pada tabel diatas dapat dilihat dalam bentuk grafik seperti tampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Analisa Traffic Channel

B. SPEECH QUALITY INDICATOR (SQI)

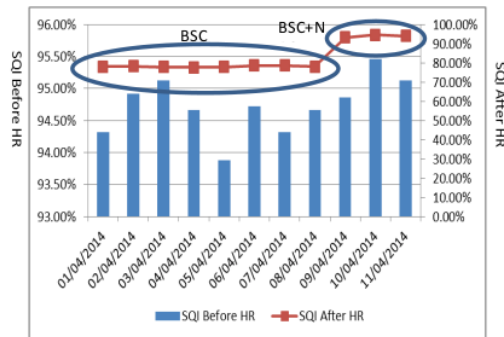
Hasil analisa untuk menghitung nilai *SQI* pada saat dilakukan proses *half rate* pada saat kondisi *high traffic* terlihat pada Tabel 3. Dari tabel tersebut terlihat bahwa Nilai *SQI* pada saat kondisi *half rate* mengalami penurunan menjadi sekitar 78 % pada saat belum digunakan NAC. Namun dengan penggunaan NAC

maka nilai *SQI* dapat bertahan dengan nilai sekitar 93%. Hal ini karena NAC menyediakan pengaturan nilai AMR (*Adaptive multi rate*) dalam kondisi *full rate*.

TABLE IV. HASIL ANALISA SQI (SPEECH QUALITY INDICATOR)

TOOL	Date	SQI Before Half Rate	SQI After Half Rate
BSC	01/04/2014	94.32%	77.99%
	02/04/2014	94.92%	78.28%
	03/04/2014	95.12%	77.92%
	04/04/2014	94.66%	77.66%
	05/04/2014	93.88%	77.86%
	06/04/2014	94.72%	78.53%
	07/04/2014	94.32%	78.61%
	08/04/2014	94.66%	77.99%
BSC+NAC	09/04/2014	94.86%	93.23%
	10/04/2014	95.46%	94.56%
	11/04/2014	95.12%	93.99%

Penggambaran hasil analisa data pada tabel di atas dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5 jelas terlihat bahwa penggunaan NAC pada kondisi *half-rate* akan mampu meningkatkan nilai *SQI* sekitar 15%, dibandingkan tanpa penggunaan NAC.



Gambar 5. Hasil Analisa Speech Quality Indikator

V. KESIMPULAN

1. Penggunaan NAC untuk optimasi jaringan pada kondisi *half-rate* dapat dilakukan dengan pengaturan AMR (*Adaptive multi rate*)
2. Hasil analisa trafik *channel* pada saat dilakukan *half rate* tanpa menggunakan NAC hanya mampu menurunkan alokasi trafik sebesar 20 %, dibandingkan dengan yang menggunakan NAC. Penambahan NAC pada BSC menyebabkan penurunan alokasi trafik sebesar 40 % sehingga dapat dilakukan penambahan kapasitas lebih besar.
3. Hasil analisa trafik *channel* keadaan *blocking rate* pada saat terjadi *TCH handover* semuanya masih berada dalam range baik yaitu kurang dari 1 %.

4. Nilai *blocking rate* yang didapat pada saat dilakukan analisa trafik *channel* dengan NAC dimungkinkan didapatkan hasil yang kurang ($> 2\%$), apabila kondisi *cell* yang dianalisa kapasitasnya telah *overload*.
5. Hasil analisa *SQI* pada kondisi *half rate*, dengan penggunaan NAC maka didapatkan nilai *SQI* yang konstan sebesar 93 %, bila dibandingkan tanpa NAC yaitu sebesar 78%, sehingga terjadi kenaikan sekitar 15%.

DAFTAR PUSTAKA

- [16] Sunomo, "Pengantar Komunikasi Nirkabel," Penerbit PT. Gramedia Indonesia, 2004.
- [17] Olivier Corbun, Magnus Almgren dan Kris ter Svanbourn, "Capacity and Speech Quality aspects Using Adaptive Multi Rate (AMR)," *Journal IEEE* 7803-4872-9, 2007, pp. 530-532.
- [18] R. Müllner, C.F. Ball, 132 yanov, H. Winkler, R. Perl and K. Kremnitzer. 2004. "Dynamic Half-Rate Allocation for Adaptive Multi-Rate Speech Codecs in GERAN Radio Networks". *Journal IEEE*, 2004
- [19] Wardhana, Lingga, "2G/3G RF Planning dan Optimization for 48 sultanat", www.nulisbuku.com, Jakarta, 2011
- [20] B. Rohani, M. Abaii, "QoS Augmentation in GPRS via Adaptive Half-Rate Speech Coding". *Journal IEEE*, 2003.
- [21] Winands, Wieland, Sanders, "Dynamic Half-rate Connection in GSM". *Geophysical Research Letter. IEEE* 28(9):, 2004pp. 1671-1674.

IMPLEMENTASI JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST) UNTUK PREDIKTOR DAYA PANCAR PADA SISTEM KOMUNIKASI BERGERAK SELULAR *DIRECT* *SEQUENCE/CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS* (SKBS DS/CDMA)

Sigit Kusmaryanto

Telekomunikasi: Jurusan Teknik Elektro, JTE
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, FTUB
Malang, Indonesia
sigitkus@ub.ac.id

Abstrak— Dalam penelitian ini dibahas analisa aplikasi struktur JST yang dirancang sebagai prediktor level daya pancar pada SKBS DS/CDMA. Perancangan dimulai dengan pembangkitan isyarat MS pada model kanal lintasan jamak yang memenuhi kriteria distribusi Poisson dan distribusi Reyleigh. Isyarat keluaran model lintasan jamak selanjutnya digunakan sebagai masukan JST.

Dari hasil simulasi disimpulkan struktur JST dapat diaplikasikan sebagai prediktor daya SKBS DS/CDMA, yang mempunyai kemampuan untuk memprediksi satu langkah ke depan, sekaligus mengatasi efek *near-far* (jauh –dekat). Struktur JST dibentuk dengan sebuah *Adaptive Linear Element* (Adaline) dan sebuah *Multi Layer Perceptron* (MLP). Struktur Adaline dibentuk dengan 5 masukan dan satu keluaran, sedangkan struktur MLP dibentuk dengan 20 masukan dan 27 *node* pada lapisan tersembunyi serta satu keluaran. Dari hasil simulasi didapatkan kesalahan struktur JST yaitu *error noise* = 1,72 persen dan *error MLP* = 1,98 persen.

Katakunci— *Prediktor, DS/CDMA, JST*

I. PENDAHULUAN

Sistem Komunikasi Bergerak (SKB) telah berkembang sedemikian rupa sehingga pada saat ini telah terdapat SKB Selular (SKBS), yang memanfaatkan teknologi akses jamak *Code Division Multiple Access* (CDMA). Pengembangan SKBS CDMA ditekankan pada peningkatan kapasitas kanal dan penekanan interferensi dalam sistem. Kapasitas terminal pengguna pada SKBS seperti sistem CDMA dibatasi oleh interferensi. Salah satu teknik untuk mengatasi interferensi adalah menjaga daya yang dipancarkan oleh setiap terminal pengguna serendah mungkin dan mengusahakan agar isyarat yang diterima oleh *Base Station* (BS) dari semua terminal pengguna berada pada daya yang relatif konstan dan sama. Untuk mencapai hal ini digunakan pengaturan daya untuk mengatasi efek jauh-dekat (*near-far effect*). Pengaturan daya umpan balik (*Feedback Power Control*) memperkenalkan BS mengirim suatu

perintah pengaturan daya kepada terminal pengguna untuk menurunkan atau menaikkan level daya pancarnya sedemikian rupa sehingga di BS level daya isyarat dapat dijaga relatif konstan dan sama.

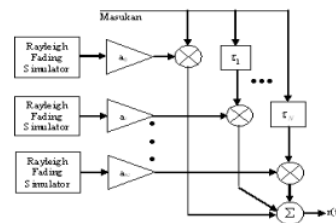
II. LATAR BELAKANG

Teknik pengaturan daya pada SKBS DS/CDMA (*Direct Sequence-CDMA*) menimbulkan waktu tunda yang dapat merusak kinerja sistem komunikasi. Untuk mengatasi waktu tunda tersebut direncanakan prediktor daya menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Penggunaan prediktor daya ini juga dapat membatasi bidang frekuensi isyarat terima yang disertai derau (*noise*), sehingga derau yang dikandungnya dapat diperkecil dan secara keseluruhan hal ini dapat mengurangi dampak pudaran cepat (*fast fading*) pada isyarat yang diterima [6]. Dalam realisasinya prediktor daya tersebut dapat dibentuk dengan menggunakan JST yang merupakan prediktor syaraf hibrid yang terdiri atas satu *Adaptive Linear Element* (Adaline) dan satu *Multi Layer Perceptron* (MLP).

Penelitian ini akan merancang implementasi JST untuk prediktor daya pancar untuk mengatasi masalah waktu tunda sekaligus derau pada teknik pengaturan daya pada SKBS DS/CDMA.

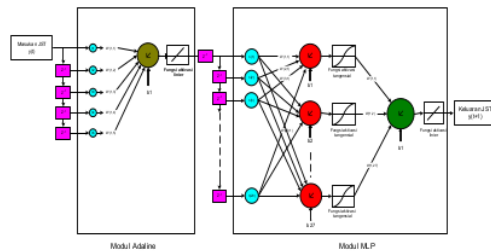
III. RANCANGAN STRUKTUR JST UNTUK PREDIKTOR DAYA PADA DS/CDMA

Perancangan dimulai dari pemodelan Rayleigh Fading pada kanal lintasan jamak yang akan digunakan sebagai data masukan JST. Pemodelan ini dapat dilihat dalam Gambar 1 berikut[15]:



Gambar 1. Model Simulator Kanal Lintasan Jamak

Untuk struktur JST untuk prediktor daya pancar digambarkan sebagai berikut[9]:



Gambar 2. Struktur JST untuk Prediktor Daya Pancar

Prediktor jaringan syaraf tiruan tersusun atas dua modul yaitu:

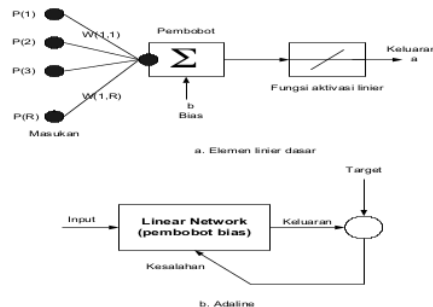
- Modul-1 adalah *Adaline*
- Modul-2 adalah *Multilayer Perceptron (MLP)*.

Fungsi linier digunakan pada modul-1 sebagai fungsi aktivasinya, sedangkan fungsi *sigmoid* digunakan untuk fungsi aktivasi pada node-node dalam lapisan tersembunyi dan fungsi aktivasi node keluaran juga linier. *Single node* pada lapisan keluaran merepresentasikan satu langkah prediksi ke depan. Jenis saluran masukan *tapped delay* diaplikasikan sebagai filter masukan *additive noise*.

Adaline

Adaline merupakan elemen linier (menggunakan fungsi aktivasi linier) yang dalam pembelajarannya menggunakan pembelajaran *Widrow-Hoff*, untuk mengatur pembobot dan sesuai dengan magnitudo kesalahan. Struktur elemen linier dasar dan *Adaline* dapat dilihat pada Gambar 3[15].

Pembelajaran *Widrow-Hoff* menghitung perubahan-perubahan pembobot dan bias dari sebuah lapisan linier untuk menurunkan SSE (*sum of square errors*) dari lapisan tersebut. Kecepatan pembelajaran (*learning rate/ lr*) berfungsi sebagai sebuah penguatan pada perubahan pembobot dan bias. Jika *lr* besar maka pembelajaran akan menjadi tidak stabil dan kesalahan mungkin bisa bertambah.



Gambar 3. Elemen linier dasar dan Adaline

Adapun algoritma *Adaline* adalah sebagai berikut[15] :

1. Inisialisasi Bobot

Set semua bobot input dan batas ambang menjadi bilangan acak.

2. Perhitungan aktivasinya

a. Level aktivasi pada unit input adalah ditentukan oleh penunjukan jarak ke jaringan.

b. Level aktivasi O_j pada unit output ditentukan oleh :

$$O_j = Fh\left(\sum W_{ji}X_i - \theta_j\right)$$

O_j : Level aktivasi

Fh : fungsi *hard-limiting*

W_{ji} : Bobot dari unit i sampai j

X_i : masukan *Adaline*

θ_j : node threshold

3. Training Bobot

a. Atur bobot dengan menggunakan :

$$W_{ji}(t+1) = W_{ji}(t) + \Delta W_{ji}$$

$W_{ji}(t+1)$: bobot unit i sampai j pada saat $t+$

$W_{ji}(t)$: bobot unit i sampai j pada saat t

ΔW_{ji} : bobot unit i sampai j yang diatur

b. Ubah bobot dengan menggunakan aturan *Widrow-Hoff*

$$\Delta W_{ji} = \eta \delta_j X_i$$

ΔW_{ji} : bobot unit i sampai j yang diatur

η : rata-rata pembelajaran ($0 < \eta < 1$)

δ_j : error pada unit j

X_i : masukan *Adaline*

Untuk error pada unit j dapat dicari dengan menggunakan :

$$\delta_j = T_j - \sum W_{ji}X_i$$

δ_j : error pada unit j

T_j : target output

W_{ji} : Bobot dari unit i sampai j

X_i : masukan *Adaline*

c. Ulangi iterasi sampai didapatkan error terkecil.

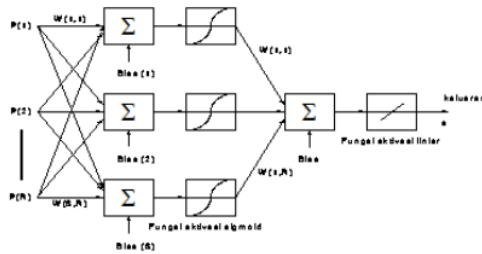
Multilayer Perceptron (MLP)

Multilayer Perceptron (MLP) merupakan suatu jaringan yang terdiri dari lapisan masukan, lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran dan jumlah node-node dalam setiap lapisan ditentukan sesuai dengan kebutuhan. Lapisan pertama pada MLP menerapkan masukan tertunda. Lapisan kedua berisikan node-node dengan menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid* dan pengaturan pembobot dan biasnya menggunakan pembelajaran *backpropagation*. Lapisan ketiga menerapkan satu node masukan dengan menggunakan fungsi aktivasi linier.

Aturan pembelajaran *backpropagation* digunakan untuk mengatur pembobot dan bias dengan

tujuan memperkecil SSE (*sum of square errors*) dari jaringan. Ini dilakukan dengan terus menerus dengan mengubah nilai-nilai dari pembobot dan bias dalam jaringan dengan arah langkah-langkah turun (*steepest descent*) dengan memperhatikan kesalahan.

Turunan dari kesalahan (*vector delta*) dihitung untuk lapisan dari jaringan tersebut dan kemudian di propagasi balikkan melalui jaringan sampai *vector delta* didapatkan untuk setiap lapisan tersembunyinya. *Vector delta* untuk lapisan keluaran dihitung dari vektor kesalahan jaringan. *Vector delta* untuk lapisan tersembunyi dihitung dari *vector delta* dan pembobot pada lapisan tersebut. Struktur MLP dapat dilihat dalam Gambar 4[15].



Gambar 4. Struktur dasar MLP yang terdiri dari 3 lapisan.

Untuk algoritma MLP yang menggunakan pembelajaran backpropagation adalah[15] :

(a) Inisialisasi bobot

Set semua bobot *input layer*, bobot *hidden layer*, dan *node threshold* yang ada pada jaringan syaraf tiruan (dari *input layer* sampai *ouput layer*).

(b) Perhitungan aktivasi

Level aktivasi (O_j) untuk hidden layer dan output layer ditentukan oleh :

$$O_j = F(\sum W_{ji} O_i - \theta_j)$$

W_{ji} : bobot dari unit j sampai i

O_i : Masukan MLP

θ_j : *node threshold*

F : fungsi *sigmoid*

Untuk fungsi *sigmoid*nya dapat dicari dengan rumus

:

$$F(a) = \frac{1}{1 + e^{-a}}$$

dengan “ a ” merupakan parameter kemiringan fungsi *sigmoid*. Dengan mengubah-ubah nilai parameter “ a ” akan diperoleh fungsi *sigmoid* dengan kemiringan yang berbeda-beda.

(c) *Training* bobot

- a. Mulai pada *unit output* ke *hidden layer*, atur bobot dengan menggunakan :

$$W_{ji}(t+1) = W_{ji}(t) + \Delta W_{ji}$$

$W_{ji}(t+1)$: bobot unit i sampai j pada saat $t+1$

$W_{ji}(t)$: bobot dari unit i ke j pada saat t

ΔW_{ji} : bobot yang diatur

- b. Ubah bobot dengan rumus :

$$\Delta W_{ji} = \eta \delta_j O_i$$

ΔW_{ji} : bobot yang diatur

η : rata-rata pembelajaran ($0 < \eta < 1$)

δ_j : gradien error pada unit j

O_i : Masukan MLP

- c. Error gradien diberikan oleh :

❖ Untuk unit output :

$$\delta_j = O_j(1 - O_j)(T_j - O_j)$$

δ_j : gradien error pada unit j

T_j : Level daya pancar MS

O_j : Nilai aktivasi output pada unit output j

❖ Untuk unit *hidden* :

$$\delta_j = O_j(1 - O_j) \sum_k \delta_k W_{kj}$$

δ_j : gradien error pada unit j

O_j : Nilai aktivasi output pada unit output j

δ_k : gradien error pada unit k ke sebuah

hubungan poin dari unit *hidden* j .

W_{ji} : bobot dari unit j sampai i

- d. Ulangi iterasi sampai ditemukan error yang paling terkecil.

Validasi model hasil identifikasi

Validasi model digunakan untuk membedakan model yang benar terhadap model yang kurang benar. Validasi model jaringan syaraf tiruan dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya validasi silang (*cross validation*). Dalam validasi silang sekelompok data dibagi menjadi beberapa bagian. Sebagian digunakan untuk pelatihan dan sebagian lainnya untuk pengujian. Tujuan dari validasi silang supaya performansi jaringan berada pada batasan yang diterima dengan variasi data pelatihan dan pengujian yang berasal dari beberapa data tunggal. Nilai MSE (*Mean Square Error*) ditentukan dengan menggunakan model[8]:

$$MSE = E \{ [S(t) - \hat{S}(t)]^2 \}$$

MSE : Rata-rata terjadinya kesalahan JST

$S(t)$: Target JST

$\hat{S}(t)$: Keluaran JST

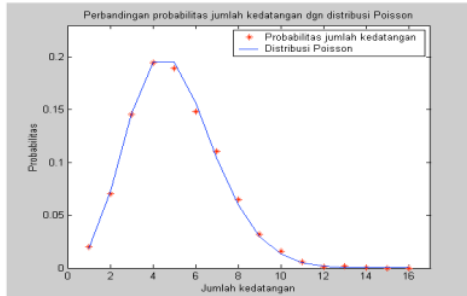
IV. HASIL DAN ANALISA

Model Kanal Lintas Jamak

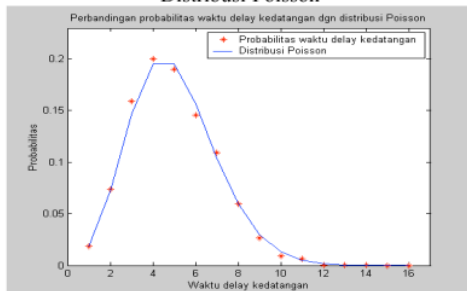
Pembangkitan kanal lintas jamak dilakukan dengan menggunakan simulator pembangkit waktu tunda kedatangan dan simulator pembentukan kanal lintasan jamak. Tingkat kesalahan probabilitas jumlah kedatangan (Gambar 5) dan probabilitas waktu delay kedatangan (Gambar 6) terhadap distribusi *Poisson* dengan $\lambda = 4$ yaitu rerata kesalahan probabilitas waktu delay kedatangan = 0,2447 % dan rerata

kesalahan probabilitas jumlah lintasan yang datang= 0,3121 %

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa model lintas jamak yang dirancang telah memenuhi teori distribusi Poisson



Gambar 5. Probabilitas Jumlah Kedatangan vs Distribusi Poisson

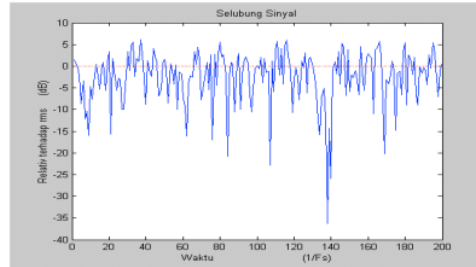


Gambar 6. Probabilitas Waktu Delay Kedatangan vs Distribusi Poisson

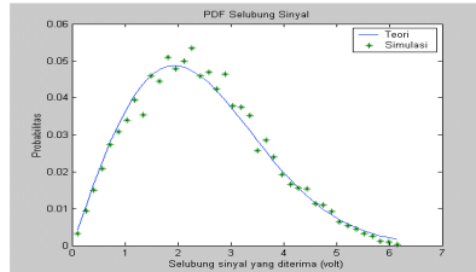
Pembangkitan Terminal Pengguna sebagai Data Masukan JST

Pembangkitan terminal pengguna merepresentasikan besarnya daya akibat jarak antara terminal pengguna dan BS, juga merepresentasikan besarnya daya yang mendekati level daya yang diinginkan oleh pengatur level daya. Pembangkitan terminal pengguna juga merepresentasikan jumlah terkecil dari sinyal yang mungkin berpengaruh dalam efek *near-far*.

Pembangkitan terminal pengguna dilakukan dengan memperhatikan batasan-batasan: frekuensi Doppler maksimum 25 Hz, data tersebut disampling sebanyak 200 kali setiap data. Selubung dari salah satu sinyal terminal pengguna yang diterima di BS dapat dilihat dalam Gambar 7. Selubung sinyal dalam Gambar 7 menunjukkan level sinyal normalisasi dalam dB terhadap nilai rms dari sinyal tersebut. Gambar tersebut telah sesuai dengan gambar selubung fading Rayleigh teoritis yang menunjukkan bahwa kanal yang terbentuk telah memenuhi syarat sebagai kanal multipath.



Gambar 7. Selubung Sinyal Terminal Pengguna di BS

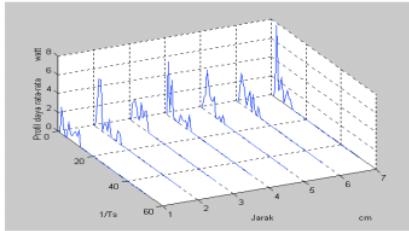


Gambar 8. Distribusi Probabilitas Selubung Sinyal Terminal Pengguna di BS

Sedangkan dalam Gambar 8 memperlihatkan distribusi selubung sinyal yang mendekati distribusi Rayleigh dengan mean = 1,5879 dan variance = 1,9546 dan kesalahan 0,1915 persen. Sehingga dari kesalahan ini (<7%) selubung sinyal yang merepresentasikan perubahan daya terima sinyal setelah melewati kanal lintasan jamak akibat perubahan posisi terminal pengguna bisa dijadikan sebagai data input pada pelatihan JST selanjutnya.

Karena prediktor JST akan digunakan sebagai pengatur daya pancar pada terminal pengguna, agar sinyal yang diterima di BS memiliki level yang relatif sama dan konstan, maka prediktor JST harus dilatih untuk mengenali perubahan profil daya yang diterima di BS yang diakibatkan oleh perubahan karakteristik kanal lintasan jamak. Agar prediktor JST mampu memprediksi sinyal satu langkah ke depan dari terminal pengguna yang bergerak, maka sinyal yang digunakan sebagai masukan harus merupakan sinyal yang berasal dari terminal pengguna bergerak. Diasumsikan pergerakan terminal pengguna yang mengakibatkan perubahan karakteristik kanal lintasan jamak (baik perubahan dalam jumlah lintasan maupun perubahan dalam level tegangan dari tegangan dari tiap-tiap lintasan). Dari asumsi ini maka masukan JST bukan lagi tegangan sinyal dari terminal pengguna tetapi harga rata-rata daya dari *rms excess delay spread* kanal yang berubah-ubah seiring dengan perubahan karakteristik kanal lintasan jamak.

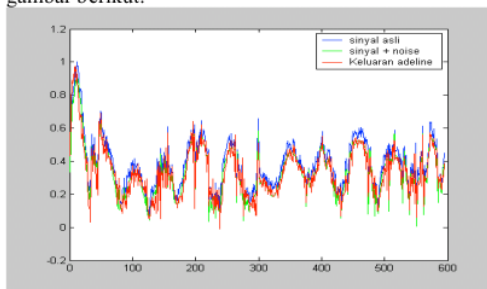
Sedangkan perubahan harga rata-rata daya dari *rms excess delay spread* yang diterima akibat perubahan posisi terminal pengguna dapat dilihat dalam Gambar 9.



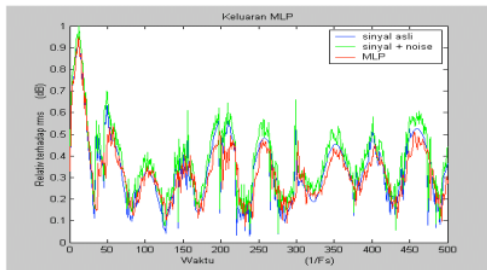
Gambar 9. Perubahan Rata-rata Daya dari *rms Delay Spread*

Pelatihan dan Pengujian JST sebagai Prediktor Daya Pancar

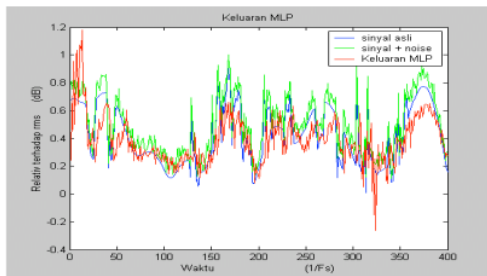
Secara ringkas hasil pelatihan dan pengujian JST sebagai Prediktor Daya Pancar divisualisasikan dengan gambar berikut:



Gambar 10 Hasil Keluaran Pelatihan Adaline



Gambar 11 Hasil Keluaran Pelatihan MLP



Gambar 12 Hasil Keluaran Pengujian MLP

V. KESIMPULAN

1. Struktur JST yang terbentuk sudah dapat diaplikasikan sebagai prediktor daya SKBS DS/CDMA.
2. Hasil pemodelan kanal lintasan jamak untuk pembangkitan waktu kedatangan dan jumlah kedatangan (lintasan) memenuhi distribusi Poisson dengan kesalahan probabilitas waktu delay kedatangan = 0,24%, kesalahan probabilitas jumlah lintasan yang datang = 0,31%
3. Isyarat keluaran kanal lintasan jamak memenuhi isyarat selubung teoritis yang terdistribusi Rayleigh, yaitu distribusi Rayleigh dengan mean = 1,6 dan variance = 1,9 dengan kesalahan = 0,19%
4. Pelatihan JST menggunakan *Personal Computer: Processor Intel Celeron 1,7 Ghz.*, yang mana telah mencapai 10000 epoch dengan 1600 masukan. Struktur JST Adaline yang terbentuk mempunyai kesalahan prediksi rata-rata terhadap masukan adalah *error noise* = 1,195% dan kesalahan Adaline = 1,16%. Hasil pelatihan MLP menghasilkan *error noise* = 1,52% dan kesalahan MLP = 1,47%. Sedangkan hasil pengujian (*mapping*) struktur Adaline-MLP adalah *error noise* = 1,72% dan kesalahan MLP = 1,98%

REFERENCES

- [1] Carlson, B.A. 2002. *Communication Systems*. McGraw Hill, New York.
- [2] Demuth, H. and Mark Beale. 1994. *Neural Network Toolbox for use with Matlab*. The Math Work Inc., USA
- [3] Dixon, R.C. 1994. *Spread Spectrum Systems with Commercial Applications*. John Wiley & Sons, New York.
- [4] Eberspächer, J. and Vögel, Hans-Jörg. 1999. *GSM Switching, Services and Protocols*. John Wiley & Sons Ltd., New York
- [5] Gao, X.M., Xio Zhi Gao, Jarno MA Tanskanen, and Seppo J. Ovaska. 1997. *Power Prediction in Mobile Communication Systems Using an Optimal Neural Network Structure*. IEEE Trans. On Neural Net. 42, Vol.8.
- [6] Gao, X.M., JMA Tanskanen, and S.J. Ovaska. 1996. *Comparison of Linier and Neural Network-based Power Predictin Schemes for Mobile DS/CDMA*. IEEE, Trans. On Neural Network, Vol.5.
- [7] Lee, W.C.1995. *Mobile Cellular Telecommunications Analog and Digital System*. McGraw-Hill, Inc., Singapore
- [8] Lee, W.C. 1986. *Mobile Design Fundamentals*. Howard W/ Somas & Co., Singapore
- [9] Limin Fu. 1986. *Neural Network in Computer Intelligence*. McGraw-Hill, Inc., Singapore
- [10] Macario, R.C.V. 1997. *Cellular Radio Principles and Design*. MACMILLAN PRESS LTD. Second Edition, London.
- [11] Proakis, J.G. 1995. *Digital Communications, third edition*. McGraw-Hill, New York
- [12] Peterson, R.L., Rodger E. Ziemer, and David E. Borth. 1995. *Introduction to spread-spectrum communications*. Prentice Hall International, USA
- [13] Prasad, R. 1996. *CDMA for Wireless Personal Communication*. Artech House Publisher, Boston.
- [14] Tonguz, O.K. and M.M. Wang. 1994. *Cellular CDMA network impaired by Rayleigh fading: System performance with power control*. IEEE Trans. Veh. Technol, vol.43, pp.515-527.
- [15] Rapaport, T.S. 1986. *Wireless Communication. Principle Practice*, Upper Sadle Rive.
- [16] Rumelhart. 1986. *Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructure of Cognition*. IEEE,
- [17] Rao, V.B. 1999. *Neural Networks and Fuzzy Logic*. Henry Holt and Company, Inc.

- [18] Shanmugan, K.S., Arthur M. Breipohl. 1998. *Random Signal Detection Estimation and Data Analysis*. John Wiley & Sons., New York.
- [19] Tanskanen, J.M.A. 1995. *Prediction of Received Signal Power for Mobile Cellular Systems*. in Proc. The IRC Workshop, Finland.
- [20] Viterbi, A.J. 1995. *CDMA of Spread Spectrum Communication*. McGraw Hill, New York.

Kajian awal Implementasi Stasiun ALE Riau Untuk Mendukung Informasi Antar Stasiun ALE Nasional

Sutoyo

Laboratorium Telekomunikasi
Jurusan Teknik Elektro UIN SUSKA Riau,
Pekanbaru, Indonesia
sutoyo_te@yahoo.com

Abstrak—Sistem komunikasi radio HF merupakan sistem komunikasi yang dirancang untuk komunikasi jarak jauh dengan memanfaatkan lapisan ionosfer sebagai media perambatannya. Salah satu kelemahan komunikasi radio HF adalah ketergantungannya pada kondisi lapisan ionosfer yang mengakibatkan frekuensi kerja dalam suatu sirkuit komunikasi dapat berubah setiap waktu. Perkembangan teknologi komunikasi radio HF telah sampai pada sistem yang adaptif seperti yang dikembangkan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dimana sistem tersebut dapat mengevaluasi frekuensi kerja yang ingin digunakan secara *real time* dikenal dengan sistem *automatic link establishment* (ALE). Untuk memperoleh informasi kondisi propagasi seluruh wilayah Indonesia, maka dibutuhkan implementasi stasiun ALE. Adapun salah satu lokasi penempatan berada di Provinsi Riau. Penelitian ini melakukan kajian awal terhadap implementasi stasiun ALE Riau untuk mendukung jaringan ALE Nasional. Dari data hasil pengukuran didapat adanya keberhasilan komunikasi antara stasiun ALE Riau dengan diketahui ID stasiun tujuan yang berada di jaringan ALE Nasional seperti stasiun Bandung *callsign* ID YDO0XH, stasiun Watukosek *callsign* ID YDO0XH3, stasiun Pontianak *callsign* ID YDO0XH7 dan stasiun Biak *callsign* ID YDO0X9A. Dengan diketahui sirkuit komunikasi maka diperoleh informasi tentang waktu komunikasi serta frekuensi kerja yang digunakan.

Kata Kunci—ALE; Radio HF; Implementasi; Stasiun ALE Riau.

I. PENDAHULUAN

Penerapan teknologi tepat guna sangat dibutuhkan bagi pengguna jasa telekomunikasi untuk mendapatkan informasi agar dapat melakukan proses komunikasi. Untuk itu penyedia layanan seperti vendor akan senantiasa melakukan inovasi dan perbaikan terhadap kualitas jaringan, baik dalam kondisi normal maupun kondisi darurat agar layanan informasi masih dapat dirasakan oleh konsumen.

Untuk mendukung kualitas komunikasi diperlukan infrastruktur jaringan telekomunikasi yang handal dan merata yang mampu mencakup seluruh wilayah Indonesia. Namun, pemerataan infrastruktur jaringan telekomunikasi belum dirasakan di seluruh wilayah Indonesia yang diakibatkan oleh struktur wilayah

Indonesia yang merupakan daerah kepulauan serta masih terdapat banyaknya masyarakat yang berada di wilayah terpencil. Disamping itu, Indonesia merupakan wilayah yang rawan bencana seperti gempa bumi yang dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur jaringan telekomunikasi sebagai media jasa telekomunikasi. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem komunikasi yang handal yang dapat melayani komunikasi dalam kondisi darurat untuk seluruh wilayah Indonesia. Salah satu sarana komunikasi yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan sistem radio komunikasi *High Frequency* (HF)[4].

Sistem radio komunikasi HF merupakan sistem komunikasi yang dirancang untuk komunikasi jarak jauh dengan perangkat yang sederhana dan biaya rendah dengan menggunakan alokasi frekuensi dari 3-30 MHz [1,2,3]. Salah satu kelemahan komunikasi radio HF adalah ketergantungannya pada kondisi lapisan ionosfer yang mengakibatkan frekuensi kerja dalam suatu sirkuit komunikasi dapat berubah setiap waktu.

Saat ini, pengembangan dan pemanfaatan teknologi komunikasi radio HF telah sampai pada sistem yang adaptif seperti yang dikembangkan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dimana sistem tersebut dapat mengevaluasi frekuensi kerja yang ingin digunakan secara *real time*. Sistem ini disebut dengan sistem *automatic link establishment* (ALE)[6].

Pada saat ini LAPAN telah memiliki 4 stasiun ALE yang telah beroperasi yakni Bandung, Watukosek, Pontianak dan Biak. Untuk memperoleh informasi kondisi propagasi seluruh wilayah Indonesia, maka dibutuhkan implementasi stasiun ALE yang berada di seluruh wilayah Indonesia. Hal ini berguna untuk dapat memperoleh informasi keterbukaan kanal (*opening channel*) dari frekuensi kerja komunikasi radio HF antar stasiun ALE. Dengan informasi tersebut, pengolahan dari data yang diperoleh dapat digunakan untuk mendukung komunikasi radio HF khususnya saat kondisi darurat terjadi di wilayah sekitar stasiun tersebut.

Salah satu lokasi yang dapat menjadi tujuan penempatan stasiun ALE adalah wilayah Riau. Adapun lokasi berada di laboratorium Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Sultan syarif Kasim Riau (UIN SUSKA Riau). Dengan adanya implementasi stasiun ALE di wilayah Riau, maka

dapat dijadikan sebagai salah satu stasiun yang turut memberikan informasi rujukan kanal yang terbuka pada pita frekuensi HF untuk wilayah Riau dengan stasiun lain, seperti Riau-Bandung, Riau-Pontianak, Riau-Watukosek dan Riau-Biak.

Dengan implementasi tersebut, komunikasi radio HF yang diperlukan pada saat terjadinya kondisi darurat disekitar wilayah Riau, dapat lebih terpadu dengan memanfaatkan data tersebut. Komunikasi yang menghubungkan lokasi bencana dengan daerah lain untuk koordinasi, seperti antara pemerintah daerah Riau dengan pemerintahan pusat yang berlokasi di Jakarta, dapat terlaksana sebagai salah satu bentuk penyebaran informasi untuk tindak lanjut awal dari peristiwa bencana yang terjadi.

Pemanfaatan lain yang dapat diperoleh dengan dilakukannya implementasi stasiun ALE di wilayah Riau, akan menghasilkan informasi data keberhasilan frekuensi komunikasi radio HF yang dilihat berdasarkan waktu dan sirkuit komunikasi ALE Riau dengan stasiun lain. Dari data tersebut akan dapat tersaji informasi untuk manajemen frekuensi yang dapat dilakukan sebagai bentuk perencanaan komunikasi secara rutin.

A. Sistem Komunikasi Radio HF

Sistem komunikasi memiliki peranan penting sebagai pendukung dalam penyampaian informasi. Salah satu sistem komunikasi dengan perangkat yang sederhana dan mampu melakukan komunikasi jarak jauh dikenal dengan sistem komunikasi radio *High Frequency* (HF), yang dirancang bekerja pada frekuensi 3 – 30 MHz dengan panjang gelombang 100 – 10 m.

Radio HF merupakan solusi untuk masa depan karena memiliki *bit rate* tinggi dengan biaya relatif murah tanpa membutuhkan infrastruktur penyedia telekomunikasi yang kompleks dan dapat menjangkau jarak jauh. Pemanfaatan radio HF banyak ditemukan pada komunikasi militer, maritim, serta penerbangan dan penyiaran (*broadcasting*).

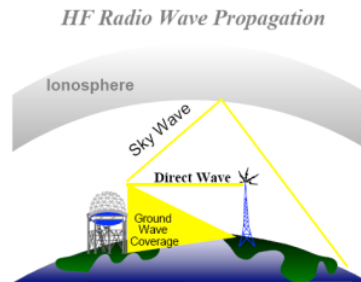
Gelombang radio HF memiliki sifat yang dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer, sehingga komunikasi dari pengirim ke penerima dapat mencapai jarak yang sangat jauh [1,2,3].

Disisi lain radio HF memiliki kelemahan pada propagasinya yang tidak stabil sehingga tingkat stabilitas komunikasinya rendah. Hal ini disebabkan oleh karakteristik lapisan ionosfer yang bervariasi dari waktu ke waktu. Ketergantungan komunikasi radio HF pada lapisan ionosfer mengakibatkan penggunaan frekuensi memiliki sensitifitas yang tinggi terhadap perubahan dari ionosfer sehingga frekuensi kerja dalam suatu sirkuit komunikasi dapat berubah setiap waktu. Untuk itu diperlukan evaluasi frekuensi kerja secara *real-time*.

B. Perambatan Gelombang Radio

Propagasi gelombang radio HF dibedakan sesuai dengan lintasan yang dilewati dari pengirim ke penerima. Propagasi gelombang adalah cara sinyal merambat dari antenna pemancar sampai ke antenna

penerima. Untuk propagasi gelombang radio HF dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian utama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. [1,2].



Gambar 1. Propagasi Gelombang Radio HF

Gelombang radio dapat merambat melalui tiga cara, yaitu merambat secara langsung (gelombang langsung, *direct wave*), merambat melalui permukaan (gelombang permukaan, *ground wave*) dan merambat melalui antarkasa (gelombang antarkasa, *sky wave*) [7].

Cara yang paling mudah dimengerti untuk perambatan gelombang dari pemancar ke penerima adalah perambatan langsung. Perambatan langsung memerlukan jalur dimana antenna pemancar dan antenna penerima dapat “saling melihat” dan tidak ada penghalang diantaranya, sehingga ketinggian antenna merupakan kendala dalam menentukan jarak komunikasi. Pada umumnya komunikasi yang menggunakan perambatan ini adalah komunikasi dengan frekuensi VHF (30-300 MHz) dan UHF(300-3000 MHz).

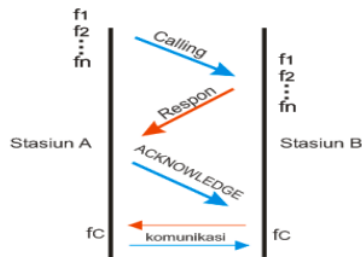
C. Sistem Automatic Link Establishment (ALE)

Salah satu teknologi terkini yang digunakan dan dikembangkan dalam lingkup komunikasi radio HF adalah teknologi yang dikenal dengan *Automatic Link Establishment* (ALE). Teknologi ini menawarkan kemudahan bagi operator radio HF dalam melaksanakan komunikasi yang hendak dilakukan. Teknologi ALE muncul sebagai upaya untuk mengatasi adanya perubahan frekuensi kerja yang dapat digunakan pada suatu sirkuit komunikasi radio, sebagai akibat dari dinamika lapisan ionosfer. Dengan sistem ini pemilihan frekuensi kerja radio pada suatu sirkuit komunikasi dapat dilakukan secara otomatis.

Sistem ALE merupakan sistem yang bekerja dengan cara melakukan pemilihan kanal atau frekuensi secara otomatis. Pemilihan frekuensi dilakukan berdasarkan hasil analisis kualitas sinyal uji komunikasi secara *real time* berdasarkan alokasi frekuensi yang dimiliki sistem tersebut. Pemeriksaan kualitas sinyal yang terbaik dari beberapa frekuensi yang dimiliki, digunakan sebagai bahan atau dasar untuk menentukan kanal atau frekuensi yang hendak digunakan dalam berkomunikasi.

Secara rinci mekanisme dalam sistem ALE untuk melakukan komunikasi dengan stasiun yang dituju atau dikehendaki disajikan pada Gambar 2. Untuk memulai komunikasi, stasiun inisiator melakukan pemanggilan sesuai dengan identitas stasiun yang

dituju dengan menggunakan frekuensi (f_1, f_2, \dots, f_n) yang telah ditetapkan atau dimiliki. Apabila stasiun yang dituju menerima sinyal tersebut, maka sinyal respon yang berisi identitas stasiun akan dikirimkan melalui frekuensi yang sama (f_c). Setelah menerima sinyal respon dari stasiun yang dituju, sinyal balasan (*acknowledgment*) dikirimkan sebagai isyarat untuk memulai komunikasi. Setelah sinyal balasan *acknowledgment* diterima, maka sinyal untuk melakukan komunikasi dari stasiun inisiator dikirimkan dan komunikasi antara kedua stasiun tersebut dapat dilaksanakan.



Gambar 2.. Proses *handshaking* dalam sistem ALE

Keterangan :

f_1, f_2, \dots, f_n : Frekuensi uji

f_c = frekuensi komunikasi

Dalam sistem ALE tiap-tiap stasiun selalu dalam kondisi siaga (*standby*) atau kondisi memanggil (*calling*). Pada saat kondisi *standby*, radio melakukan proses *scanning* untuk memeriksa sinyal panggilan dari frekuensi-frekuensi yang dimiliki atau digunakan. Proses *scanning* tersebut memiliki durasi waktu antara 0,2 hingga 0,5 detik per satu frekuensi dan bersifat pilihan. Apabila saat proses *scanning* diterima sinyal panggil yang ditujukan kepada stasiun tersebut, maka sinyal respon akan dikirimkan melalui frekuensi yang sama sambil melakukan proses menunggu sinyal respon *acknowledgment* dari stasiun pemanggil.

Dalam proses pemanggilan (*calling*), pemilihan frekuensi yang hendak digunakan tidak bersifat acak. Pemilihan frekuensi dilakukan berdasarkan hasil analisis kualitas sinyal dari tiap-tiap frekuensi yang ada. Proses analisis kualitas sinyal tersebut dikenal sebagai algoritma *Link Quality Analyze* (LQA). Frekuensi dengan kualitas terbaik akan digunakan terlebih dahulu untuk memanggil stasiun yang dituju. Apabila tidak diperoleh respon dari stasiun yang dituju pada frekuensi tersebut, maka frekuensi terbaik berikutnya digunakan untuk memanggil stasiun yang dituju. Proses pemilihan frekuensi untuk memanggil stasiun yang dituju terus dilakukan hingga diperoleh sinyal respon. Apabila semua frekuensi telah digunakan untuk memanggil stasiun yang dituju, namun tidak diperoleh sinyal respon, maka sistem ALE akan memberi tahu operator bahwa komunikasi tidak dapat dilakukan.

Dalam proses melakukan panggilan komunikasi yang dilakukan, susunan frekuensi berdasarkan kualitas sinyal dengan algoritma LQA dibuat dalam sebuah matriks. Contoh matriks LQA disajikan pada Tabel 1. Kolom *address* merupakan kolom yang

berisikan identitas atau *callsign* masing-masing stasiun. Sedangkan kolom *channels* merupakan kolom frekuensi atau kanal yang tersedia yang berisi informasi nilai kualitas sinyal dari frekuensi yang dapat digunakan untuk menghubungi stasiun-stasiun tersebut. Sebagai contoh; untuk berkomunikasi dengan stasiun ALPHA2, tersedia 4 kanal yang dapat digunakan, yakni ; kanal 1, 3, 4, dan 5. Sedangkan untuk urutan frekuensi yang digunakan dalam penentuan frekuensi kerja yang hendak digunakan untuk berkomunikasi akan dimulai dari kanal 4, 3, 5, dan 1.

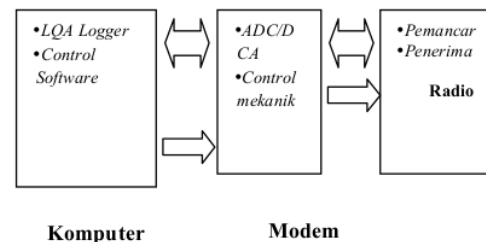
Tabel 1. Hasil dari LQA sistem ALE

Address	Channels				
	01	02	03	04	05
ALPHA 1	60	33	12	81	23
ALPHA 2	10	--	48	86	21
ALPHA 3	--	--	29	52	63

II. IMPLEMENTASI STASIUN ALE RIAU

Stasiun ALE yang akan diterapkan di lokasi Riau merupakan stasiun ALE yang menggunakan perangkat radio konvensional yang diintegrasikan dengan komputer. Stasiun ini memiliki konfigurasi yang serupa dengan penerapan stasiun ALE yang dilakukan oleh para amatir radio yang tergabung dalam komunitas hflink. Hal ini dimaksudkan agar dalam pengoperasiannya, stasiun ALE yang dibangun dapat menyediakan data LQA yang dapat digunakan untuk analisa manajemen frekuensi yang dilakukan.

Pada Gambar 3 disajikan blok diagram konfigurasi perangkat ALE. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa sistem ALE yang dibangun memiliki 4 blok utama, yakni Komputer, Modem, Radio Transceiver, dan Antena. Blok komputer memiliki fungsi sebagai pengendali radio secara *software* serta penyimpanan dan pemrosesan data LQA yaitu mengendalikan nilai frekuensi kerja radio serta kondisi saat memancar atau menerima. Sedangkan blok modem berfungsi untuk mengendalikan radio secara mekanik, ADC dan DAC, serta sebagai *interface* aliran data komputer dengan radio. Untuk blok radio transceiver bersama antena merupakan perangkat keras yang berfungsi sebagai modulasi dan demodulasi sinyal informasi dan sinyal carier serta penerima dan pemancar gelombang radio dari maupun ke ruang bebas.

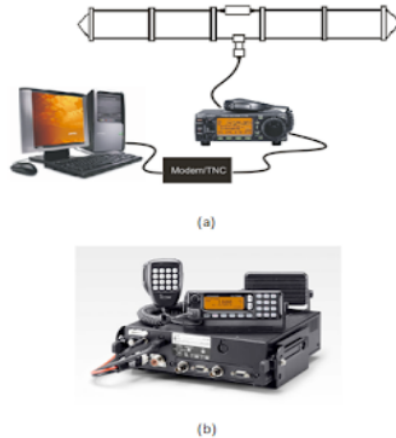


Gambar 3.. Blok Diagram Konfigurasi Perangkat ALE

Kemudian antena *broadband* merupakan antena dengan *bandwidth* yang cukup lebar, sehingga apabila frekuensi kerja yang digunakan berubah, antena tersebut masih layak digunakan (contoh nilai SWR =

1) dan sangat banyak ditemukan dipasaran dengan sebutan antenna *folded dipole*.

Perangkat sistem ALE telah diintegrasikan pada sebuah perangkat radio komunikasi. Pada Gambar 4 ditunjukkan konfigurasi sistem ALE menggunakan PC dan Modem/TNC serta contoh perangkat radio yang sudah terintegrasi dengan sistem ALE.



Gambar 4. Blok Diagram perangkat sistem ALE (a) Perangkat menggunakan Modem TNC dan PC (b) Perangkat radio ICOM IF-7000

Adapun alokasi frekuensi kerja stasiun ALE Riau yang telah beroperasi diatur penggunaan frekuensi sesuai dengan alokasi komunikasi radio amatir Indonesia yang terdapat pada wilayah 3 ITU dan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2 Alokasi Frekuensi kerja stasiun ALE

KANAL	FREKUENSI (KHZ)
1	3596
2	7049
3	7102
4	10145
5	14109
6	18109
7	21096
8	24926
9	28146

III. HASIL IMPLEMENTASI STASIUN ALE RIAU

Pada bagian ini akan menjelaskan hasil yang diperoleh pada penerapan stasiun ALE Riau untuk mendukung komunikasi jaringan ALE nasional. Hasil yang diperoleh pada bagian ini berupa hasil pengujian perangkat stasiun ALE Riau. Kemudian hasil uji keberhasilan komunikasi antara stasiun ALE Riau dengan stasiun ALE Nasional.

Stasiun ALE Riau merupakan salah satu stasiun ALE yang ada di Indonesia digunakan untuk mendukung jaringan stasiun ALE Nasional yang telah dikembangkan oleh lembaga penerbangan dan antariksa nasional (LAPAN) bidang ionosfer dan

telekomunikasi yang berada di kota Bandung. Pendirian stasiun ALE Riau bertujuan untuk turut serta memberikan informasi rujukan kanal yang terbuka untuk waktu tertentu pada pita frekuensi propagasi HF wilayah Riau dan sekitarnya dengan stasiun ALE yang lain baik berada pada wilayah lokal negara Indonesia maupun wilayah Internasional.

Gambar 5 Menunjukkan keberhasilan pengujian terhadap perangkat sistem ALE yang diawali dengan pemasangan antenna transceiver sampai pengolahan data melalui komputer. Kemudian Gambar 6 menunjukkan hasil uji keberhasilan data komunikasi radio HF stasiun ALE Riau dengan stasiun ALE yang lain yang diperoleh dari keberhasilan perangkat sistem yang terpasang dengan baik.



Gambar 5. Pengujian perangkat sistem ALE

File	Edit	Format	View	Help	
06/19/2013	23:57:49	FREQ 07102000	[SND]	[THS] [Y000KH7]	[ALO] BER 16 SN 04
06/19/2013	23:57:26	FREQ 07049500	[SND]	[THS] [Y000KH3]	[ALO] BER 26 SN 05
06/19/2013	23:54:35	FREQ 14109000	RADIO: PTT POW RELEASED		
06/19/2013	23:54:12	FREQ 14109000	RADIO: PTT POW ACTIVE		
06/19/2013	23:54:12	FREQ 14109000	SCANNING: SENDING THIS SOUNDING		
06/19/2013	23:48:53	FREQ 07102000	[SND]	[THS] [Y000KH7]	[ALO] BER 22 SN 06
06/19/2013	23:39:46	FREQ 07049500	[SND]	[THS] [Y000KH7]	[ALO] BER 23 SN 05
06/19/2013	23:38:34	FREQ 21096000	[SND]	[THS] [Y000KH9A]	[ALO] BER 30 SN 07
06/19/2013	23:38:17	FREQ 21096000	[SND]	[THS] [Y000KH9A]	[ALO] BER 23 SN 08
06/19/2013	23:33:49	FREQ 07102000	[SND]	[THS] [Y000KH7]	[ALO] BER 18 SN 04
06/19/2013	23:31:35	FREQ 28146000	RADIO: PTT POW RELEASED		
06/19/2013	23:31:12	FREQ 28146000	RADIO: PTT POW ACTIVE		
06/19/2013	23:31:12	FREQ 28146000	SCANNING: SENDING THIS SOUNDING		
06/19/2013	23:27:34	FREQ 21096000	RADIO: PTT POW RELEASED		
06/19/2013	23:27:12	FREQ 21096000	RADIO: PTT POW ACTIVE		
06/19/2013	23:27:12	FREQ 21096000	SCANNING: SENDING THIS SOUNDING		
06/19/2013	23:26:35	FREQ 07049500	RADIO: PTT POW RELEASED		
06/19/2013	23:26:12	FREQ 07049500	RADIO: PTT POW ACTIVE		
06/19/2013	23:26:12	FREQ 07049500	SCANNING: SENDING THIS SOUNDING		

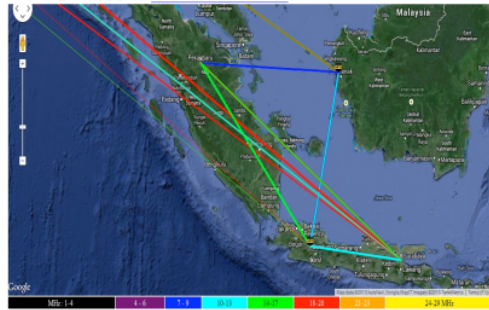
Gambar 6 Tampilan data komunikasi melalui software

Pada Gambar 5 merupakan perangkat sistem ALE Riau yang telah terpasang dan beroperasi pada laboratorium Telekomunikasi Fakultas Sains Dan Teknologi UIN SUSKA Riau. Stasiun ALE tersebut merupakan sistem otomatis yang terintegrasi dengan perangkat radio dan beroperasi secara *real time* terus menerus selama 24 jam dalam satu hari yang dapat mengevaluasi secara *real time* kondisi lapisan ionosfer yang dinamis dan dapat memberikan informasi kondisi propagasi untuk wilayah Riau dan sekitarnya serta dapat menentukan frekuensi kerja yang dapat digunakan.

Pada Gambar 6 merupakan data uji keberhasilan komunikasi antara stasiun ALE Riau dengan stasiun lain. Data keberhasilan komunikasi mencakup informasi tentang waktu komunikasi, frekuensi kerja yang digunakan serta tujuan komunikasi yang disajikan secara *real time* selama pengukuran.

Pendirian stasiun ALE Riau merupakan bagian dari jaringan ALE nasional diperoleh data informasi kondisi propagasi komunikasi radio HF secara *real time* antara stasiun ALE Riau dengan stasiun ALE

yang lain. Pada Gambar 7 disajikan peta lokasi serta informasi frekuensi kerja yang dapat digunakan untuk berkomunikasi menggunakan radio HF yang dapat diakses oleh masyarakat umum secara langsung melalui website www.hflink.net.



Gambar 7 Peta lokasi stasiun dan informasi frekuensi kerja

Pada Gambar 7 terlihat tampilan jaringan ALE Nasional yang disajikan melalui website. Gambar 7 terlihat kondisi komunikasi yang sedang berlangsung antara stasiun ALE Riau dengan stasiun ALE yang lain seperti Pontianak, Bandung dan Watukosek. Garis pada gambar menunjukkan frekuensi kerja yang dapat digunakan untuk komunikasi menggunakan radio HF.

Kemudian untuk mendapatkan data uji komunikasi antara sirkit stasiun ALE Riau dengan stasiun yang lain maka data yang diperoleh dari hasil pengukuran diolah kemudian dilakukan filter untuk mengetahui sirkit mana yang ingin ditentukan frekuensi kerja yang digunakan.

Berikut merupakan hasil filter masing-masing sirkit yang didapat melalui implementasi stasiun ALE Riau.

Tanggal	Waktu	Frekuensi	Status
06/19/2013	06:52:57	FRQ 21096000	SND
06/19/2013	06:48:56	FRQ 18106000	SND
06/20/2013	22:48:46	FRQ 14109000	SND
06/20/2013	21:41:57	FRQ 03596000	SND
06/20/2013	21:41:44	FRQ 03596000	SND
06/20/2013	21:31:58	FRQ 03596000	SND
06/20/2013	18:30:50	FRQ 10145500	SND
06/20/2013	18:26:51	FRQ 14109000	SND
06/20/2013	17:27:03	FRQ 10145500	SND
06/20/2013	17:25:50	FRQ 07102000	SND
06/20/2013	16:21:51	FRQ 10145500	SND
06/20/2013	14:10:46	FRQ 14109000	SND
06/20/2013	13:17:56	FRQ 18106000	SND
06/20/2013	13:06:38	FRQ 14109000	SND
06/20/2013	13:06:44	FRQ 14109000	SND
06/20/2013	12:16:45	FRQ 24926000	SND
06/20/2013	12:16:02	FRQ 21096000	SND
06/20/2013	12:13:50	FRQ 21096000	SND
06/20/2013	12:13:55	FRQ 18106000	SND

Gambar 8. Data hasil filter jaringan sistem ALE Riau bulan Juni 2013 sirkit Riau dengan Bandung

Pada Gambar 8 diatas dapat disajikan beberapa informasi uji keberhasilan komunikasi antara stasiun ALE Riau dengan stasiun ALE Bandung. Hal ini dibuktikan dengan diketahui *callsign* stasiun tujuan pada data yang diperoleh pada Gambar 8 yaitu *callsign* YD00XH1 yang berarti stasiun tujuan adalah Bandung yang memuat informasi waktu komunikasi, serta frekuensi kerja yang digunakan antara sirkit Riau dengan Bandung

Tanggal	Waktu	Frekuensi	Status
06/19/2013	23:57:26	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	23:18:14	FRQ 07102000	SND
06/19/2013	23:18:31	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	23:18:15	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	22:43:29	FRQ 10145500	SND
06/19/2013	19:23:26	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	19:23:15	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	19:17:30	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	18:17:45	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	18:49:30	FRQ 10145500	SND
06/19/2013	18:49:14	FRQ 10145500	SND
06/19/2013	18:37:26	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	18:37:14	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	18:11:21	FRQ 14109000	SND
06/19/2013	18:11:11	FRQ 14109000	SND
06/19/2013	18:10:26	FRQ 10145500	SND
06/19/2013	17:38:27	FRQ 10145500	SND
06/19/2013	17:31:10	FRQ 10145500	SND
06/19/2013	17:26:25	FRQ 07102000	SND

Gambar 9. Data hasil filter jaringan sistem ALE Riau bulan Juni 2013 sirkit Riau dengan Watukosek

Pada Gambar 9 disajikan beberapa informasi uji keberhasilan komunikasi antara stasiun ALE Riau dengan stasiun ALE Watukosek yang berada di Surabaya. Hal ini dibuktikan dengan diketahui *callsign* stasiun tujuan pada data yang diperoleh pada Gambar 9 yaitu *callsign* YD00XH3 yang berarti stasiun tujuan adalah Watukosek yang memuat informasi waktu komunikasi, serta frekuensi kerja yang digunakan antara sirkit Riau dengan Watukosek

Tanggal	Waktu	Frekuensi	Status
06/19/2013	23:57:49	FRQ 07102000	SND
06/19/2013	23:48:53	FRQ 07102000	SND
06/19/2013	23:39:46	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	23:07:45	FRQ 07102000	SND
06/19/2013	19:13:57	FRQ 07102000	SND
06/19/2013	18:51:47	FRQ 07102000	SND
06/19/2013	18:50:42	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	18:30:29	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	18:21:46	FRQ 07102000	SND
06/19/2013	18:21:35	FRQ 07102000	SND
06/19/2013	18:11:42	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	17:41:45	FRQ 07102000	SND
06/19/2013	17:21:38	FRQ 07102000	SND
06/19/2013	17:13:34	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	17:11:43	FRQ 10145500	SND
06/19/2013	16:52:44	FRQ 10145500	SND
06/19/2013	16:33:53	FRQ 10145500	SND
06/19/2013	16:33:43	FRQ 10145500	SND

Gambar 10. Data hasil filter jaringan sistem ALE Riau bulan Juni 2013 sirkit Riau dengan Pontianak

Pada Gambar 10 diatas dapat disajikan beberapa informasi uji keberhasilan komunikasi antara stasiun ALE Riau dengan stasiun ALE Pontianak. Hal ini dibuktikan dengan diketahui *callsign* stasiun tujuan pada data yang diperoleh pada gambar 10 yaitu *callsign* YD00XH7 yang berarti stasiun tujuan adalah Pontianak yang memuat informasi waktu komunikasi, serta frekuensi kerja yang digunakan antara sirkit Riau dengan Pontianak

Tanggal	Waktu	Frekuensi	Status
06/19/2013	23:38:34	FRQ 21096000	SND
06/19/2013	23:38:17	FRQ 21096000	SND
06/19/2013	23:04:23	FRQ 18106000	SND
06/19/2013	17:45:23	FRQ 18106000	SND
06/19/2013	17:11:25	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	17:10:22	FRQ 07049500	SND
06/19/2013	17:08:24	FRQ 18106000	SND
06/19/2013	17:04:19	FRQ 14109000	SND
06/19/2013	16:58:33	FRQ 21096000	SND
06/19/2013	16:58:17	FRQ 21096000	SND
06/19/2013	15:48:15	FRQ 18106000	SND
06/19/2013	15:40:27	FRQ 21096000	SND
06/19/2013	15:09:23	FRQ 18106000	SND
06/19/2013	15:04:25	FRQ 18106000	SND
06/19/2013	15:01:14	FRQ 21096000	SND
06/19/2013	13:56:20	FRQ 18106000	SND
06/19/2013	13:04:23	FRQ 21096000	SND
06/19/2013	12:37:24	FRQ 18106000	SND
06/19/2013	12:25:33	FRQ 21096000	SND

Gambar 11. Data hasil filter jaringan sistem ALE Riau bulan Juni 2013 sirkit Riau dengan Biak

Pada Gambar 11 diatas dapat disajikan beberapa informasi uji keberhasilan komunikasi antara stasiun ALE Riau dengan stasiun ALE Biak. Hal ini dibuktikan dengan diketahui *callsign* stasiun tujuan

pada data yang diperoleh pada Gambar 11 yaitu *callsign* YDO0X9A yang berarti stasiun tujuan adalah Biak yang memuat informasi waktu komunikasi, serta frekuensi kerja yang digunakan antara sirkit Riau dengan Biak

IV . KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan diatas maka dapat disimpulkan :

- 1) Stasiun ALE Riau dapat beroperasi dengan dengan baik yaitu dapat terkoneksi dengan stasiun ALE yang lain sehingga dapat memberikan informasi dalam mendukung jaringan ALE Nasional.
- 2) Data keberhasilan komunikasi stasiun ALE Riau menyajikan informasi tentang waktu komunikasi, frekuensi kerja yang digunakan serta tujuan stasiun komunikasi
- 3) Dari uji komunikasi membuktikan bahwa stasiun ALE Riau dapat melakukan komunikasi dengan stasiun ALE Bandung, stasiun ALE Watukosek, stasiun ALE Pontianak dan stasiun ALE Biak.
- 4) Dengan adanya implementasi stasiun ALE di wilayah Riau, maka dapat dijadikan sebagai salah satu stasiun yang turut memberikan informasi rujukan kanal yang terbuka pada pita frekuensi HF untuk wilayah Riau dengan stasiun lain

REFERENSI

- [1] Australian Government. (2007), "Introduction to HF Radio Propagation", *IPS Radio and Space Services*, Sidney, Australia.
- [2] Harris, (1996), "Radio communications in the digital age", Harris Corporation, RF Communications Division, Vol.1.HF technology
- [3] NATO. (2007), "HF Interference, Procedures and Tools" *The Research and Technology Organisation (RTO) of NATO*.
- [4] Dear, V¹, 2012. "Pengamatan Propagasi Komunikasi Radio HF menggunakan jaringan Automatic Link Establishment (ALE) Nasional dan Pemanfaatannya. Workshop Kerjasama LAPAN-UNSRAT", Manado 22 November 2012
- [5] Dear, V², 2012. "Hasil Awal Uji Indeks T Ionosfer Regional Menggunakan Jaringan Stasiun ALE (Automatic Link Establishment)", Berita Dirgantara.
- [6] Jiyo, 2009., "Penentuan frekuensi maksimum komunikasi radio dan sudut elevasi antena", majalah sains dirgantara, Vol 4 no1
- [7] Dettmann, T. R., (WX7S), "Types of propagation", [97nload](#)
- [8] Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika, Nomor : 29/PER/M.KOMINFO/07/2009, (2009), tentang "Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia", Jakarta
- [9] ---, 1996, "Radio Communications In The Digital Age volume one : HF Technology".
- [10] ---, "Introduction to HF Radio Propagation", [61/www.ips.gov.au](#). Download tanggal 25 Februari 2003
- [11] Mc. Namara, L., 1991, "The ionosfer : Communications, surveillance, and direction finding", Kreiger publishing company

Model Pengolahan Data Propagasi Komunikasi Radio Hf Hasil Pengamatan Jaringan Stasiun Ale (*Automatic Link Establishment*) Lapan

Varuliantor Dear
Pusat Sains Antariksa, LAPAN
Jl. Dr. Djunjunan 133A,
Bandung, Indonesia
e-mail : varuliant@yahoo.com;

Rahma Laila Qodriah
Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta 09, Malang,
Indonesia
e-mail : ilahewod@gmail.com

Almas Shaffina Maulidha
Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta 09, Malang,
Indonesia
e-mail :
almasshaffina@yahoo.com

Abstract— Makalah ini membahas tentang model pengolahan data ALE (*Automatic Link Establishment*) yang dapat digunakan untuk analisa propagasi komunikasi radio *High Frequency* (3-30MHz). Model yang dikembangkan adalah penyusunan matrik data LQA (*Link Quality Analysis*) dari hasil observasi sistem ALE yang diwujudkan dalam bentuk visualisasi kontur indeks kualitas sinyal penerimaan untuk tiap frekuensi yang diamati setiap jamnya. Kontur dibuat dalam periode harian dengan sumbu horisontal menyatakan waktu (jam) dan sumbu vertikal menyatakan frekuensi yang diamati (MHz). Dari hasil penerapan dengan menggunakan data jaringan ALE pada tahun 2012 untuk link komunikasi Bandung-Watukosek, diperoleh kondisi propagasi untuk tiap jam pengamatan yang sesuai dengan pola kondisi lapisan Ionosfer. Informasi yang dikemas dalam visualisasi kontur tersebut dapat digunakan untuk menganalisa propagasi yang terjadi dalam satu hari yang berupa pola batas frekuensi minimum (LUF) dan maksimum (MUF) berdasarkan frekuensi yang digunakan dalam sistem ALE. Selain itu hasil pengolahan data yang dilakukan juga dapat memberikan informasi kemunculan lapisan E sporadis. Dengan penerapan model tersebut, informasi indeks kualitas sinyal beserta rentang frekuensi yang disajikan dapat dimanfaatkan untuk menentukan kanal yang paling baik sesuai dengan metoda manajemen frekuensi yang melakukan pemilihan frekuensi berdasarkan indeks kualitas sinyal tertinggi.

Keywords— *Propagasi Komunikasi Radio HF, ALE, LQA*

I. PENDAHULUAN

Salah satu metoda observasi kondisi lapisan ionosfer di Indonesia yang dikembangkan oleh LAPAN adalah dengan membangun dan mengembangkan jaringan sistem ALE (*Automatic Link Establishment*) [1]. Jaringan ALE digunakan untuk melakukan pengujian dari sejumlah frekuensi komunikasi radio HF (3-30 MHz) pada band amatir sesuai regulasi *International Telecommunication Union* (ITU) untuk Region 3 [2]. Data pengamatan yang dihasilkan dari jaringan sistem ALE kemudian dimanfaatkan untuk keperluan penelitian kondisi lapisan ionosfer seperti validasi model prediksi komunikasi radio HF yang dihasilkan [3].

Data yang diperoleh dalam jaringan ALE memiliki informasi yang berupa frekuensi kerja dari suatu *link*

komunikasi yang berhasil dilakukan beserta dengan indeks kualitas sinyal penerimaan dari tiap sumber. Informasi tersebut secara periodik diperbaharui sehingga dapat merepresentasikan informasi untuk skala per-jam. Dengan kondisi tersebut, maka data ALE memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan analisis kondisi propagasi suatu link komunikasi yang terjadi dalam satu hari meliputi keterbukaan kanal komunikasi (*opening channel*) beserta kondisi propagasi dari kanal tersebut. Pada makalah ini disajikan model pengolahan dan penyajian data ALE yang dapat dimanfaatkan untuk analisa kondisi propagasi link komunikasi radio HF. Pengolahan data dilakukan untuk periode satu hari dari hasil pengamatan yang diperoleh dan dianalisa kesesuaiannya dengan kondisi ionosfer yang terjadi. Pemilihan pengolahan data dengan periode satu hari didasari oleh variasi kondisi lapisan ionosfer yang tercepat yakni variasi harian [4]. Dalam makalah ini penerapan model dilakukan untuk link sirkuit komunikasi antara Bandung dan Watukosek pada periode tahun 2012.

II. DATA JARINGAN ALE

Sistem dan spesifikasi teknis dari jaringan ALE LAPAN telah dijelaskan oleh Dear [5]. Pada sistem jaringan ALE LAPAN tersebut, data yang dihasilkan merupakan data yang berisi informasi link komunikasi yang terjadi setiap waktu dalam periode jam-an. Data tersebut dapat mengidentifikasi stasiun sumber sinyal, frekuensi kerja, waktu link komunikasi, dan indeks kualitas sinyal yang diterima untuk tiap frekuensi. Tampilan data yang dihasilkan pada sistem ALE disajikan pada Gambar 1.

Keterangan:

A = Waktu

B = Frekuensi kerja

C = Sumber sinyal

D = Indeks kualitas sinyal

Gambar 1. Informasi yang terkandung pada data dari jaringan ALE

Berdasarkan rincian informasi dari data yang diterima, sistem ALE membuat suatu tabel atau matriks yang dikenal dengan nama matriks LQA (*Link Quality Analysis*). Tabel LQA ini diperuntukkan sebagai acuan pada saat akan dilakukannya komunikasi dengan stasiun lawan. Dengan tabel LQA tersebut, proses pemilihan frekuensi kerja dapat dilakukan dengan lebih efisien berdasarkan urutan indeks kualitas sinyal yang diterima. Contoh tabel LQA yang dihasilkan dalam sistem ALE disajikan pada tabel 1

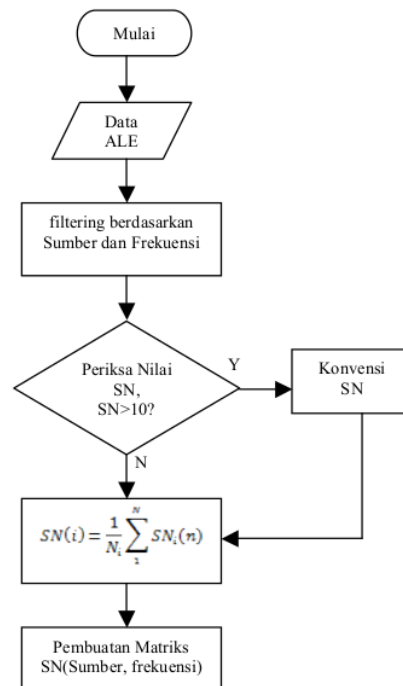
TABEL 1. TABEL LQA HASIL OBSERVASI JARINGAN ALE LAPAN PADA SATU PERIODE PENGAMATAN

Stasiun	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8	Ch9
YD00XH5A	7	9	8	10	-	-	-	-	-
YD00XH7	8	10	8	9	9	-	-	-	-
YD00XH8	-	-	7	7	8	9	-	-	-
YD00XH3	-	8	9	8	-	-	-	-	-
YD00XH9A	-	-	-	-	8	7	9	-	-
YD00XH9	-	-	-	-	-	7	-	8	-

Tabel LQA yang dihasilkan seperti pada Tabel 1 selalu diperbaharui isinya secara periodik (*update*). Hal ini dilakukan agar pada saat melakukan komunikasi dengan suatu stasiun, informasi kondisi kanal yang digunakan merupakan informasi yang terbaru.

III. METODOLOGI

Pengolahan data ALE untuk analisa propagasi dilakukan dalam 4 tahap proses, yakni Filtering, Konvensi kualitas sinyal (SN), Perata-rataan (*Averaging*), dan Penyusunan matrik SN yang dilakukan sesuai diagram alur pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1. Diagram alur pengolahan data ALE

Proses filtering merupakan proses dimana data dari stasiun ALE diseleksi sesuai dengan sumber sinyal dan frekuensi kerja. Seleksi berdasarkan sumber sinyal dilakukan dengan tujuan agar link komunikasi yang diolah merupakan link komunikasi pada sirkuit yang dikehendaki. Sedangkan seleksi berdasarkan frekuensi kerja ditujukan untuk proses pengolahan data tahap ke tiga, yakni proses perata-rataan (*averaging*) indeks kualitas sinyal berdasarkan cuplikan setiap jam nya.

Tahap proses konvensi kualitas sinyal (SN) diperlukan karena tidak konsistennya nilai kualitas sinyal yang teramati pada sistem observasi ALE. Berdasarkan standar indeks yang ditetapkan oleh pembuat *software* MARS ALE [6], indeks kualitas sinyal (SN) akan berada pada rentang 0-10, namun dari data hasil pengamatan, indeks yang teramati dapat berada pada rentang 10-30. Terjadinya perbedaan nilai tersebut disebabkan oleh kesalahan interpretasi pembacaan data oleh *software* pada jenis radio yang digunakan. Hal ini dikarenakan *software* tersebut diperuntukkan secara luas untuk berbagai merk dan tipe radio dan masih terus dikembangkan kearah penyempurnaan. Oleh karena itu dibutuhkan konvensi nilai untuk menjaga indeks kualitas sinyal berada pada rentang yang sesuai dengan standar yang dinyatakan. Konvensi sinyal SN yang teramati dilakukan dengan menggunakan persamaan (3-1).

$$SN_k = \left(\frac{\log_{10}(SN)}{\log_{10}(30)} \right) \cdot 10 \quad \dots(3-1)$$

dengan SN_k merupakan kualitas sinyal hasil konvensi dan SN merupakan nilai kualitas sinyal yang teramati pada sistem ALE. Pemilihan perhitungan konvensi nilai SN dengan perbandingan terhadap nilai logaritma 30 merujuk pada pengukuran SNR yang dilakukan dalam software MARS ALE saat dalam proses perancangan [7]. Selain itu indeks dengan nilai 30 merupakan batas atas nilai tertinggi dari indeks kualitas sinyal yang tercatat dan nilai 10 merupakan indeks tertinggi yang diijinkan ditentukan pada sistem ALE.

Proses ketiga, yakni proses *averaging* adalah proses perata-rataan kualitas sinyal yang merepresentasikan nilai untuk setiap jam pengamatan. Proses ini dilakukan karena dalam proses analisis, variasi terendah untuk propagasi angkasa adalah variasi harian yang merepresentasikan dinamika lapisan ionosfer setiap jam-nya dalam satu hari. Proses *averaging* dilakukan dengan menggunakan persamaan (3-2).

$$SN(i) = \frac{1}{N_i} \sum_1^N SN_i(n) \quad \dots(3-2)$$

dengan $SN(i)$ merupakan nilai SN yang mewakili jam, n merupakan indeks kejadian nilai SN yang teramati, dan N merupakan jumlah indeks n yang nilainya bervariasi sesuai hasil pengamatan.

Proses penyusunan matriks SN merupakan proses akhir yang diperuntukkan sebagai visualisasi analisa yang dilakukan. Penyusunan matriks LQA disusun sesuai dengan persamaan (3-3).

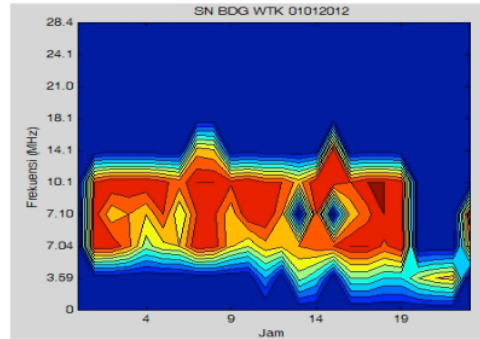
$$\begin{bmatrix} SN_{f(i)}(t) & SN_{f(i)}(t+1) & \dots & SN_{f(i)}(t+23) \\ SN_{f(i+1)}(t) & SN_{f(i+1)}(t+1) & \dots & SN_{f(i+1)}(t+23) \\ SN_{f(i+2)}(t) & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ SN_{f(i+n-1)}(t) & \dots & \dots & SN_{f(i+n-1)}(t+23) \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

dengan $f(i)$ merupakan frekuensi yang diuji, t merupakan waktu cuplikan pengamatan dalam interval jam, dan n adalah jumlah kanal yang diuji dalam sistem ALE.

Dari 4 tahap proses yang dijabarkan, pada makalah ini implementasi dilakukan dengan menggunakan data jaringan sistem ALE untuk *link* komunikasi Bandung-Watukosek pada tahun 2012

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

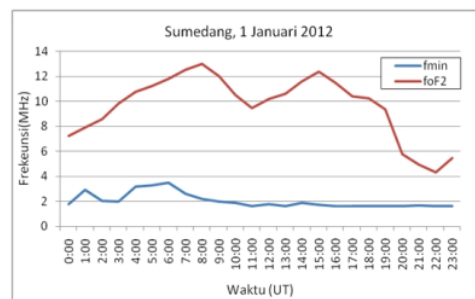
Pada Gambar 2 disajikan contoh hasil implementasi model pengolahan data ALE untuk satu hari pengamatan dengan menggunakan data dari link komunikasi sirkuit Bandung-Watukosek dengan memanfaatkan fungsi kontur dalam program Matlab. Pada Gambar 2 secara jelas terlihat bahwa hasil observasi sistem ALE yang diolah menunjukkan batas frekuensi terendah (LUF) dan tertinggi (MUF) setiap jamnya dalam periode satu hari. Selain itu hasil olahan yang diperoleh juga menunjukkan indeks kualitas sinyal penerimaan untuk tiap frekuensi melalui warna kontur yang disajikan.



Gambar 2. Hasil implementasi pengolahan data ALE pada tanggal 1 Januari 2012 yang menunjukkan kualitas sinyal dari tiap frekuensi yang teramati setiap jam nya.

Batas frekuensi yang merepresentasikan nilai frekuensi kerja maksimum (MUF) dan frekuensi kerja minimum (LUF) dapat berguna untuk analisa kondisi propagasi yang terjadi. Dari gambar yang disajikan dapat dinyatakan bahwa rentang frekuensi yang dapat digunakan untuk link komunikasi Bandung-Watukosek pada tanggal 1 Januari 2012 adalah antara 1,5MHz hingga 16MHz. Pada pukul 00UT hingga 07UT, rentang frekuensi kerja berada pada nilai 5MHz hingga 12MHz. Namun, pada pukul 08UT, peningkatan terjadi pada batas frekuensi maksimum yang dapat digunakan. Nilai MUF meningkat hingga mencapai pada kisaran 16MHz.

Hasil penerapan model pengolahan data propagasi komunikasi radio HF yang diperoleh dari jaringan stasiun ALE dapat dianalisa berdasarkan kondisi lapisan ionosfer yang terjadi sesuai dengan waktu observasi. Pada Gambar 3 disajikan kondisi lapisan ionosfer yang dapat digunakan sebagai pembanding data hasil pengolahan dari jaringan stasiun ALE.



Gambar 3. Kondisi lapisan ionosfer pada tanggal 1 Januari 2012 diatas wilayah Sumedang.

Dari hasil pengamatan kondisi lapisan ionosfer yang disajikan pada Gambar 3 terlihat bahwa kondisi lapisan ionosfer ($foF2$ dan $fmin$) memiliki pola yang sesuai dengan hasil observasi dari sistem ALE. Perubahan nilai $foF2$ yang meningkat pada pukul 07 dan 15UT diikuti dengan meningkatnya nilai frekuensi maksimum yang teramati pada link komunikasi Bandung-Watukosek hingga mencapai 16MHz. Sedangkan pola penurunan nilai $foF2$ yang terjadi pada pukul 21 hingga 22UT juga memiliki kesesuaian dengan penurunan frekuensi tertinggi yang dapat digunakan, yakni menjadi 1,8MHz. Peningkatan dan

penurunan nilai frekuensi tersebut dapat dikaitkan dengan fenomena fisis dari proses pembentukan lapisan ionosfer yakni merujuk pada variasi harian lapisan ionosfer.

Kendatipun memiliki pola yang sesuai dengan data kondisi lapisan ionosfer, nilai frekuensi dari visualisasi kontur data ALE yang diperoleh tidak dapat secara langsung dikaitkan dengan nilai frekuensi dari data observasi sistem ALE dan data kondisi lapisan ionosfer. Hal ini cukup jelas terlihat pada pukul 07UT dimana visualisasi kontur menunjukkan nilai frekuensi mencapai 16MHz, sedangkan pada data kondisi lapisan ionosfer nilai foF2 yang tercatat adalah 13MHz. Dengan menggunakan perhitungan metoda secant [8] yakni persamaan

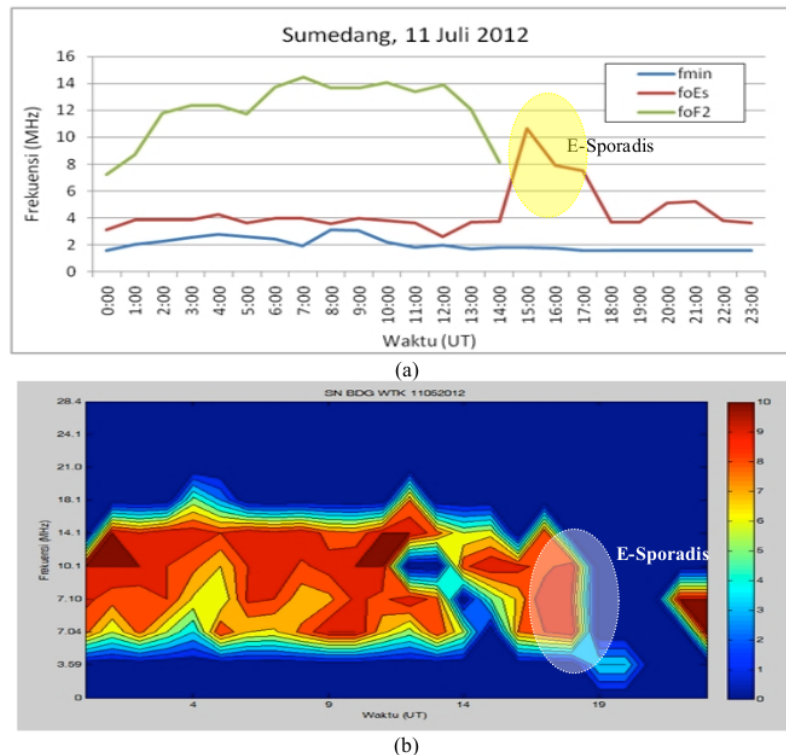
$$f = foF2 \cdot \frac{\sqrt{1/4d'^2 + (h')^2}}{(h')} \quad (4-1)$$

dimana f adalah frekuensi yang dapat dipantulkan, h' dan d' merupakan ketinggian lapisan ionosfer lapisan F yang mencapai 250km dan jarak sirkuit 570km, nilai frekuensi yang dapat digunakan adalah 14,9 MHz. Terdapat selisih nilai frekuensi yang mencapai 1MHz.

Ketidaksesuaian nilai tersebut dapat dianalisa berdasarkan slot kanal yang tersedia pada sistem ALE [2]. Apabila berdasarkan slot kanal yang tersedia,

frekuensi yang teramati pada tanggal 1 Januari 2012 akan berada pada rentang 3,59MHz hingga 14,1MHz. Namun hasil kontur yang disajikan, menunjukkan bahwa frekuensi yang tercatat dinyatakan lebih besar dan lebih kecil dari frekuensi pada data ALE. Adanya ketidaksesuaian data tersebut disebabkan oleh fungsi kontur dalam program Matlab yang melibatkan proses interpolasi linear untuk mengisi kekosongan data antar dua buah nilai. Ketidaksesuaian ini lebih terlihat jelas akibat skala sumbu horisontal (frekuensi) yang digunakan bukanlah skala linear. Dengan kondisi tersebut, maka pemanfaatan visualisasi kontur yang disajikan harus didasari oleh nilai slot frekuensi yang digunakan oleh sistem ALE.

Beberapa fenomena lapisan ionosfer seperti munculnya lapisan E Sporadis juga perlu dikaji kesesuaiannya terhadap hasil observasi pada jaringan ALE. Secara teoritis, nilai frekuensi yang dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer akibat kehadiran lapisan E Sporadis yang berada ditinggikan sekitar 150 km akan berdampak pada keberhasilan pemantulan dengan menggunakan frekuensi yang lebih tinggi dari biasanya [9]. Hal ini terlihat pada Gambar 4 yang menyajikan data kondisi lapisan ionosfer dan observasi dari sistem ALE pada tanggal 11 Juli 2012. Dari Gambar 4 terlihat bahwa kemunculan lapisan E Sporadis diikuti keberhasilan penggunaan frekuensi yang lebih tinggi pada hasil pengamatan jaringan stasiun ALE.



Gambar 4. Perbandingan (a) kondisi lapisan ionosfer di atas Sumedang dengan (b) data observasi jaringan ALE stasiun Bandung-Watukosek pada tanggal 11 Mei 2012 yang menunjukkan adanya pengaruh kemunculan lapisan E-Sporadis.

Pada Gambar 4, yakni pada pukul 15UT terlihat adanya kemunculan lapisan E-Sporadis dengan frekuensi (foEs) mencapai 10 MHz disaat foF2 berada pada nilai yang rendah dan pada fase menurun. Bersamaan dengan kondisi tersebut, data observasi jaringan stasiun ALE juga menunjukkan adanya keberhasilan penggunaan frekuensi yang tinggi, yakni 14,1 MHz. Dengan perhitungan menggunakan persamaan (4-1) yang mengasumsikan ketinggian lapisan E-Sporadis berada pada kisaran 150 Km disertai dengan nilai frekuensi kritis (foEs) yang mencapai 10 MHz, akan berdampak pada keberhasilan pemantulan gelombang radio pada frekuensi yang tinggi hingga mencapai 14,1MHz. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan propagasi gelombang radio pada frekuensi 14,1 MHz tersebut merupakan propagasi akibat kemunculan lapisan E Sporadis. Hal ini juga menyatakan bahwa hasil pengamatan jaringan ALE yang diolah dapat menunjukkan kondisi propagasi yang terjadi sesuai dengan kondisi lapisan ionosfer sehingga dapat pula digunakan untuk menentukan frekuensi kerja yang sesuai dengan manajemen frekuensi yang didalamnya terdapat informasi indeks kualitas sinyal [10].

V. KESIMPULAN

Model pengolahan data propagasi komunikasi radio HF dari hasil pengamatan menggunakan jaringan stasiun ALE Lapan telah dilakukan. Dengan menyusun matriks data LQA, dapat dihasilkan visualisasi kontur kualitas sinyal propagasi gelombang radio antar stasiun ALE untuk tiap satu hari pengamatan. Data yang disajikan berdasarkan frekuensi kerja untuk setiap jam pengamatan dalam satu hari tersebut dapat memberikan informasi propagasi komunikasi radio HF yang antara lain meliputi:

1. Pola batas frekuensi minimum (LUF) dan batas frekuensi maksimum (MUF) berdasarkan frekuensi sistem ALE, dan
2. Kemunculan Lapisan E Sporadis

Dari analisa hasil penerapan model yang dilakukan pada data link komunikasi Bandung-Watukosek tahun 2012, representasi kontur kondisi propagasi komunikasi radio HF yang diperoleh memiliki kesesuaian pola dengan kondisi lapisan ionosfer. Akan tetapi, kesesuaian tersebut tidak diikuti dengan kesesuaian nilai secara presisi. Ketidaksesuaian nilai secara presisi tersebut dibatasi oleh slot kanal yang dimiliki sistem ALE. Sedangkan kesesuaian pola menyatakan bahwa hasil pengolahan data yang dilakukan mampu menjelaskan propagasi komunikasi radio HF yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa model pengolahan data ALE yang dilakukan dapat digunakan baik untuk analisa propagasi komunikasi radio HF maupun metoda manajemen frekuensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [22] Dear, V., 2012. Jaringan Stasiun ALE LAPAN untuk Mendukung Komunikasi Darurat di Indonesia, Prosiding EECCIS 2012, Vol. 1 Hal. C2-1 –C2-5. ISBN 978-602-8692-27-4.
- [23] Crystal, B., 2007. ALE Channel List - Ham Radio, <http://hflink.com/channels/>, Akses September 2013.
- [24] Dear, V., 2012. Telaah Perbandingan Hasil Uji Komunikasi Menggunakan Sistem Automatic Link Establishment (ALE) dengan Data Ionosonda Tanjungsari Untuk Sirkuit Komunikasi Bandung-Watukosek, Berita Dirgantara Vol.13 No.1 Maret 2012 Hal. 28-37. ISSN: 1411-8920.
- [25] Jiyo, 2011. Riset Ionosfer dan Pemanfaatannya, Materi Pelatihan Manajemen Frekuensi dan Teknis Komunikasi Radio Tingkat Lanjut Tahun 2011. Juni 2011.
- [26] Dear, V., 2012. Kajian Awal Efisiensi Waktu Sistem Automatic Link Establishment (ALE) Berbasis Manajemen Frekuensi. Berita Dirgantara Vol. 12 No. 2 Juni 2011 Hal. 60-67. ISSN: 1411-8920.
- [27] Crystal, B., 2007. Network Activity Log- Ham Radio ALE on The Air Now. <http://hflink.net/>, Akses September 2013.
- [28] Hadjucek, S., 2013. Preliminary Test Results of MARS-ALE Second Generation (2G) Listen Before Transmit (LBT) Detector http://www.n2ckh.com/MARS_ALE_FORUM/MARS-ALE_2G_Listen_Before_Transmit_Preliminary_Evaluation.pdf 119 ses Juli 2014.
- [29] McNamara, L.F., 1991. The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding, Krieger Publishing Company.
- [30] Suhartini S., 2007. Komunikasi Jarak Jauh menggunakan 2 Meteran, Berita Dirgantara, Vol. 8 No. 3, halaman 68-71.
- [31] Suhartini, S., 2006 : Prediksi dan Manajemen Frekuensi Komunikasi Radio HF Publikasi Ilmiah LAPAN, ISBN 978-979-1.

Controls

Aplikasi *Programmable Logic Controller (PLC)* pada Prototipe Robot Pemindah Bushing

Djulil Amri

Jurusan Teknik Elektro
Universitas Sriwijaya
Palembang, Indonesia
amfz_07@yahoo.co.id

Bhakti Yudho Suprpto

Jurusan Teknik Elektro
Universitas Sriwijaya
Palembang, Indonesia
bhakti_yudho@yahoo.com

Abstract—Salah satu pemeliharaan bulldozer yang sering dilakukan adalah penggantian bushing. Proses memasang bushing pada bushingframe biasanya menggunakan pemanasan terlebih dahulu dimana proses ini banyak mengalami kendala dari segi lingkungan. Untuk mengatasi masalah tersebut dirancanglah robot pemindah bushing dengan penggerakannya adalah motor arus searah dan sistem gripper yang menggunakan *pneumatic*. Pada penelitian ini pengendalian pergerakan robot pemindah bushing menggunakan *Programmable Logic Control (PLC)* dengan bahasa pemrograman ladder diagram. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sistem kendali yang dirancang berdasarkan pemrograman PLC dan perancangan elektrikal dapat bekerja dengan baik dan sudah sesuai dengan yang diinginkan. Robot berhasil memindahkan bushing seberat 25 kg dengan tekanan yang dibutuhkan sebesar 500 kPa

Keywords—Robot Pemindah Bushing; PLC; Motor arus searah; *pneumatic*

I. PENDAHULUAN

Saat ini banyak perusahaan yang beroperasi di wilayah Sumatera Selatan bergerak di bidang pertambangan khususnya pertambangan batubara. Peralatan yang banyak digunakan pada industri pertambangan ini diantaranya adalah bulldozer. Dalam rutinitas fungsinya, bulldozer ini memerlukan perawatan yang terjadwal dan teratur. Perawatan yang paling sering dilakukan diantaranya adalah penggantian bushing.[1] Namun proses memasang bushing pada bushingframe memerlukan proses yang cukup rumit karena memerlukan pemanasan terlebih dahulu (*preheating*) agar bushing tersebut memuai sehingga mudah untuk dimasukkan pada frame-nya. Akan tetapi hal ini menuai persoalan baru yang menyangkut permasalahan lingkungan seperti terlihat pada gambar 1 berikut ini.



Fig. 10. Proses *preheating bushing* secara konvensional[1]

Selain menggunakan cara konvensional seperti terlihat pada gambar 1, digunakan juga cara lain seperti terlihat pada gambar 2 berikut ini :



Fig. 11. Proses *handling bushing* secara manual setelah menggunakan bushing heater[1]

Namun yang menjadi permasalahan adalah proses *handling bushing* ke frame-nya yang menggunakan *hoist crane*. Hal ini dapat membahayakan operatornya. Oleh karena itu penulis mencoba untuk membantu permasalahan ini dengan merancang sebuah prototipe robot untuk memindahkan bushing tersebut berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)* sebagai pengendalinya. PLC ini digunakan karena cukup kokoh dan tahan dalam lingkungan industri dan telah banyak digunakan di industri sehingga pada pekerja di industri tersebut lebih familiar dengan kerja PLC.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Programmable Logic Controller (PLC)*

PLC dapat mengendalikan multi *input* dan multi *output*, yang terdiri dari modul *input*, modul *output*, CPU (*Central Processing Unit*), dan *programming device*. PLC merupakan sistem kendali berbasis digital yang hanya mengenal dua kondisi yaitu on atau off [3]. PLC dapat diprogram, dikendalikan dan dioperasikan oleh operator yang tidak ahli komputer sekalipun karena sifatnya yang sederhana, sehingga memungkinkan untuk diaplikasikan dalam semua bidang seperti pada bidang pertanian secara luas [4]. Menurut Suhardiyanto (2006) PLC dapat dimanfaatkan dalam sistem kendali otomatis untuk budidaya tanaman secara hidroponik pernah diujicobakan untuk pengendalian pemberian larutan nutrisi dalam budidaya tanaman secara hidroponik pada berbagai umur dan jenis tanaman. Sensor kelembaban dipasang pada media tanam sebagai bagian dari sistem kendali

tersebut [4]. Aplikasi lain dari PLC ini diantaranya yaitu pada Pengendalian Crane untuk menempatkan peti kemas[2], dan pada pengaturan mesin yang dipergunakan untuk memotong kentang[5] dan masih banyak lagi. Oleh karena itu PLC merupakan salah satu peralatan yang dapat dipergunakan pada penelitian ini.

Sistem kendali yang akan dirancang pada robot pemindah *bushing* ini menggunakan PLC, hal ini dikarenakan PLC telah banyak digunakan secara luas dalam banyak aplikasi dan sangat fleksibel. Penggunaan PLC sebagai pengendali pada robot banyak sekali dipergunakan Karena bentuknya yang rigid, mudah dalam pemrogramannya, mudah dalam alasannya serta mudah dalam perawatannya. Sebuah PLC adalah sebuah alat yang digunakan untuk menggantikan rangkaian sederetan relai yang dijumpai pada sistem kontrol proses konvensional. PLC bekerja dengan cara mengamati masukan (melalui sensor-sensor terkait), kemudian melakukan proses dan melakukan tindakan sesuai yang dibutuhkan, yang berupa menghidupkan atau mematikan keluarannya (logik, 0 atau 1, hidup atau mati). Pengguna membuat program (yang umumnya dinamakan diagram tangga atau *ladder diagram*) yang kemudian harus dijalankan oleh PLC yang bersangkutan. Dengan kata lain, PLC menentukan aksi apa yang harus dilakukan pada instrumen keluaran berdasarkan status ukuran atau besaran yang diamati. PLC banyak digunakan pada aplikasi-aplikasi industri, misalnya proses pengepakan, penanganan bahan, perakitan otomatis dan lain sebagainya. Dengan kata lain, hampir semua aplikasi yang memerlukan kontrol listrik atau elektronik membutuhkan PLC.

Penggunaan PLC sebagai pengendali suatu sistem memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan sistem kontrol proses konvensional, antara lain :[2]

- Dibandingkan dengan sistem kontrol proses konvensional, jumlah kabel yang dibutuhkan bisa berkurang hingga 80%;
- PLC mengkonsumsi daya lebih rendah dibandingkan dengan peralatan kontrol proses konvensional (berbasis relay);
- Fungsi diagnostik pada sebuah kontroler PLC membolehkan pendeteksian kesalahan yang mudah dan cepat;
- Tidak membutuhkan spare part yang banyak;
- Lebih murah dibandingkan dengan sistem konvensional, khususnya dalam kasus penggunaan instrumen I/O yang cukup banyak dan fungsi operasional prosesnya cukup kompleks;

B. Sistem Pneumatik

Lengan robot yang akan dirancang ini digerakkan dengan menggunakan sistem pneumatik, hal ini dikarenakan sistem pneumatik ini baik dalam gerakan lurus (maju-mundur) dan dengan sedikit tambahan bisa juga digunakan untuk rotasi atau gerakan

lainnya. Sistem pneumatik ini telah banyak digunakan dalam industri – industri.

Pneumatik berasal dari bahasa Yunani yang berarti udara atau angin. Sedangkan sistem pneumatik sendiri merupakan semua sistem yang menggunakan tenaga yang disimpan dalam bentuk udara yang dimampatkan untuk menghasilkan suatu kerja.

Jaringan kontrol untuk sinyal aliran yang dipakai sebagai output ke sistem kerja tampak pada gambar berikut :

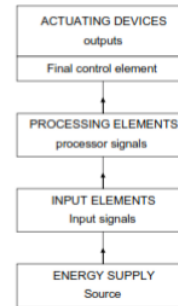


Fig. 12. Diagram blok komponen-komponen sistem pneumatik

Elemen-elemen diatas pada penggunaan dalam sistem pneumatik biasanya mempergunakan simbol yang menunjukkan fungsinya. Simbol-simbol itu bisa dikombinasikan/dirangkai untuk menghasilkan solusi pada diagram jaringan kerja. Diagram kerja harus digambarkan susunannya seperti struktur pada fig 4. Katup penentu arah dapat mempunyai fungsi sebagai pengontrol sensor, prosesor atau aktuator. Apabila katup penentu arah digunakan untuk mengontrol gerakan sebuah silinder maka katup ini berfungsi sebagai pengontrol aktuator. Apabila dipakai mengolah sinyal maka katup ini berfungsi sebagai prosesor. Begitu pula bila dipakai sebagai peraba sebuah gerakan maka berfungsi sebagai sensor.

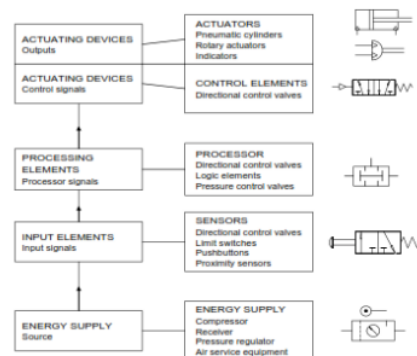


Fig. 13. Struktur komponen/elemen dalam sistem pneumatik

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa metode diantaranya adalah :

A. Studi literatur

Sebelum melakukan penelitian biasanya akan dicari semua literatur yang berkaitan erat dengan penelitiannya. Pencarian ini dapat dicari pada buku-buku, jurnal, majalah dan datasheet.

B. Pemodelan dan Perancangan

Pada tahapan ini diagram kerja robot ini terlihat pada fig 5. berikut ini :

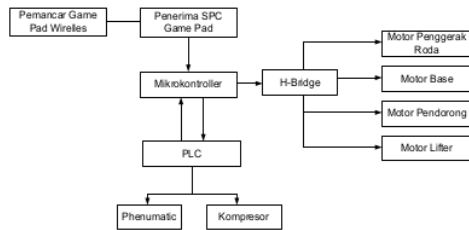


Fig. 14. Diagram kerja robot

Pada fig. 5 terlihat bahwa pengendali utama yaitu PLC yang bertugas untuk mengendalikan kerja robot berdasarkan sinyal dari gamepad yang ditekan oleh operator. PLC ini akan mengirimkan sinyal pada aktuator dan penggerak yang berupa motor arus searah maupun silinder pneumatik. Sedangkan perancangan robot ini dapat dilihat pada fig 6. Berikut ini :

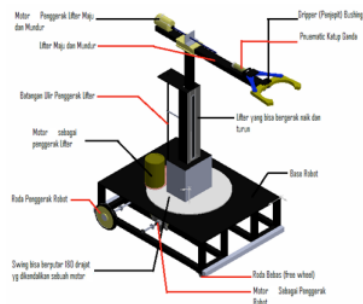


Fig. 15. Rancangan robot pemindah *Bushing* dengan PLC

Pada gambar tersebut terlihat bahwa gripper akan berbentuk bulat karena *bushing* yang akan dijemput berbentuk bulat. Penggerak gripper akan dipergunakan pneumatik karena lebih kuat dalam mencengkram *bushing*. Motor yang akan dipergunakan untuk penggerak torsi dan daya yang besar sehingga akan dapat mampu mengatasi beban yang ada.

C. Pengujian

Setelah dilakukan perancangan dan pemodelan serta dilakukan pembuatan robot. Pembuatan ini berdasarkan pada apa yang telah dirancang dan dimodelkan. Untuk menentukan bahwa robot ini telah sesuai dengan yang diinginkan maka dilakukan

pengujian diantaranya adalah pengujian program PLC, pengujian kemampuan mengangkat beban, pengujian gripper.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dilakukan pengujian terhadap robot. Adapun bentuk prototipe robot yang telah dirancang seperti yang ditunjukkan pada fig 7 berikut ini :



Fig. 16. Rancangan prototipe robot pemindah *Bushing* dengan PLC

Sedangkan *bushing* yang akan diangkat memiliki dimensi tinggi 65 cm diameter 45 cm dan tebal 1,2 cm dengan berat ± 25 kg, seperti terlihat pada fig. 8 berikut ini :



Fig. 17. Gambar *bushing* a. *Bushing* yang baru b. *Bushing* yang telah digunakan

Kemudian dilakukan beberapa pengujian untuk menentukan apakah robot ini telah berfungsi sebagaimana mestinya atau belum.

A. Pengujian program PLC

Hasil dari pengujian program dapat dilihat pada gambar-gambar yang ditampilkan. Warna hijau pada gambar menunjukkan aliran arus listrik atau pada kontak menyatakan dalam kondisi aktif.

1. Proses Pengendalian Roda Belakang Robot

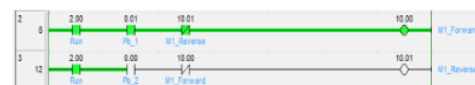


Fig. 18. Roda belakang bergerak maju



Fig. 19. Roda belakang bergerak mundur

2. Proses Pengendalian Roda Depan

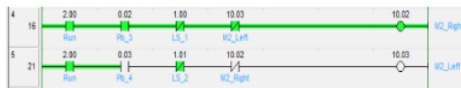


Fig. 20. Roda depan berputar ke kanan

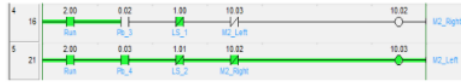


Fig. 21. Roda depan berputar ke kiri

3. Proses Lifter Lengan Robot

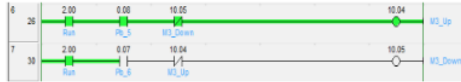


Fig. 22. Program lifter lengan robot bergerak naik



Fig. 23. Program lifter lengan robot bergerak turun

4. Proses Tiang Lifter Lengan Robot

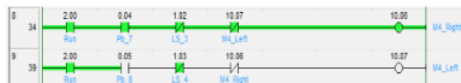


Fig. 24. Program tiang lifter lengan robot bergerak ke kanan



Fig. 25. Program tiang lifter lengan robot bergerak ke kiri

5. Proses pengendalian gripper robot

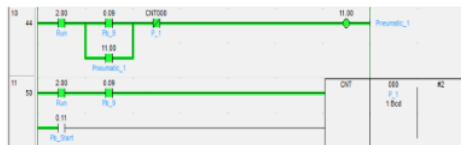


Fig. 26. Pb_9 Aktif, Pneumatik_1 Aktif Dan CNT 000 Menghitung 1

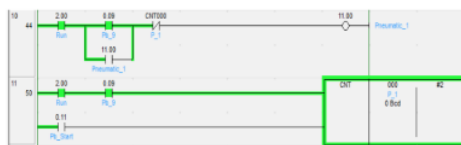


Fig. 27. Pb_9 Aktif Kembali, Pneumatik_1 Tidak Aktif Dan CNT 000 Menghitung 2

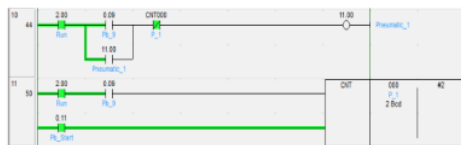


Fig. 28. Pb_Start Aktif Dan CNT 000 Direset

B. Pengujian arus output motor DC pada sistem lifter

Motor DC yang digunakan untuk menggerakkan sistem lifter ini dikopel dengan katrol penggung tali katrol dengan menggunakan gear. Motor DC ini dapat bekerja dengan baik pada sistem lifter sampai lengan mengangkat *bushing* seberat 25kg. Hasil pengukuran output arus motor DC pada saat sistem lifter naik dan turun dapat dilihat pada tabel berikut.

TABLE V. PENGUJIAN ARUS OUTPUT MOTOR DC PENGGERAK SISTEM LIFTER PADA SAAT NAIK

No	Tegangan Sumber (Volt)			Arus (Ampere)		
	Tanpa Bushing	Bushing 20 kg	Bushing 25 kg	Tanpa Bushing	Bushing 20 kg	Bushing 25 kg
1.	10,93	10,16	9,75	4,9	8,6	11,1
2.	11,06	10,11	9,71	4,4	8,8	10,5
3.	11,08	10,07	9,42	4,2	8,8	11,1
4.	10,72	10,10	9,62	4,6	8,6	10,2
5.	10,94	10,15	9,36	4,2	8,8	10,3

TABLE VI. PENGUJIAN ARUS OUTPUT MOTOR DC PENGGERAK SISTEM LIFTER PADA SAAT TURUN

No	Tegangan Sumber (Volt)			Arus (Ampere)		
	Tanpa Bushing	Bushing 20 kg	Bushing 25 kg	Tanpa Bushing	Bushing 20 kg	Bushing 25 kg
1.	12,35	12,43	12,29	0,8	0,6	0,5
2.	12,28	12,44	12,35	0,6	0,3	0,3
3.	12,26	12,40	12,37	0,6	0,4	0,3
4.	12,30	12,40	12,36	0,8	0,3	0,2
5.	12,36	12,38	12,35	0,7	0,5	0,3

Dari tabel tampak bahwa arus yang digunakan motor DC lebih besar pada saat lifter naik daripada saat turun. Bahkan semakin besar *bushing* yg diangkat, semakin kecil pula arus yang dibutuhkan oleh motor penggerak lifter. Hal ini disebabkan oleh gaya gravitasi bumi sehingga pada saat motor DC menurunkan sistem lifter, gaya berat beban (*bushing*) ikut menarik motor. Dari pengujian yang dilakukan pada beban hingga sebesar 25 kg, lifter masih dapat bergerak naik ke atas secara perlahan dan turunnya juga tidak terlalu kencang. Motor DC yang digunakan sebagai penarik lifter ini memiliki nilai *rated current* sebesar 9 A dan *stall current* sebesar 28A. Hal ini mengakibatkan lifter dapat bergerak dengan baik saat membawa *bushing* sebesar 20 kg karena arus yang dibutuhkan dibawah 9 A, dan masih dapat bergerak cukup baik dengan *bushing* 25 kg yang membutuhkan arus sebesar 10 A – 11 A.

C. Pengujian Sistem Pneumatik Gerakan Dorong Dan Tarik Pada Lengan Robot

Sistem pneumatik pada lengan robot berupa 2 buah aktuator jenis silinder pneumatik linear ganda yang dihubungkan paralel pada sebuah solenoid valve tunggal tipe 5/2 (5 lubang 2 posisi) dan terhubung pada sebuah kompresor. Aktuator ini berfungsi untuk

menarik dan mendorong gripper yang terhubung ke lengan, sehingga nantinya gripper dapat masuk dan keluar dari heater. Posisi dorong dan tarik aktuator ini terjadi sesuai dengan bukaan arah angin (tekanan) pada solenoid valve yang dikendalikan dari PLC dengan prinsip push button. Dari pengujian yang dilakukan, aktuator ini dapat bergerak mendorong dan menarik jika diberi angin dengan tekanan minimal 100 KPa.

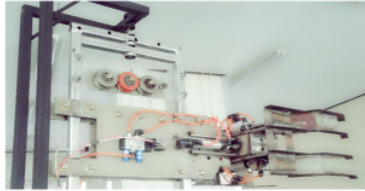


Fig. 29. Sistem pneumatik pada lengan robot

D. Pengujian Sistem Pneumatik Pada Gripper Robot

Dari pengujian yang telah dilakukan, *gripper* dapat bekerja dengan baik untuk menjepit dan menahan *bushing* agar mampu di angkat dan di pindahkan dari posisi yang satu ke posisi yang lainnya. Sama dengan sistem pneumatik pada lengan, sistem pneumatik pada gripper ini pun memiliki tekanan minimal agar mampu menjepit atau membuka. Pada saat tanpa *bushing* gripper ini dapat menjepit atau membuka dengan tekanan minimal 200 KPa, sedangkan untuk menahan *bushing* berdiameter 270 mm dapat dilihat pada tabel berikut.

TABLE VII. TEKANAN MINIMAL SISTEM PNEUMATIK UNTUK MENJEPIT DAN MENAHAN *BUSHING* PADA GRIPPER

Berat <i>Bushing</i> (kg)	Tekanan minimal	
	KPa	Psi
-	200	29
20	450	65,25
25	500	72,5

V. KESIMPULAN

1. Robot pemindah *bushing* dapat menjepit, membawa, memindahkan, dan memasang *bushing* hingga berat maksimal 25 kg.
2. Sistem *steering* masih dapat bekerja hingga berat *bushing* 25 kg dengan arus sebesar 13,8 A – 15,1 A.
3. Untuk menjepit *bushing* dengan berat 20 kg dan 25 kg dibutuhkan tekanan minimal 500 KPa

REFERENSI

- [32] Bhakti, Y. S., and Dedy, R., "Prototype Bushing Handling Robot using ATmega 8535 Microcontroller," Proceeding ISSTIN 2012 (International Seminar On Science and Technology Innovation), University of Al Azhar, pp 86-91, 2-4 Okt 2012.
- [33] Bhakti, Y. S., "Simulasi Crane Untuk Penempatan Peti Kemas Berbasis Programmable Logic Controller," Majalah Sriwijaya, Vol.11-No.3, April 2008.
- [34] Swainston, F., "A Systems Approach to Programmable Controller", Newnes. Butterworth-Heinemann Ltd., 1991.

- [35] Suhardiyanto, H., A. Sapei, C. Arief, A. Mardjani, B.D. Astuti, "Sistem Kendali Berbasis PLC untuk Pengaturan Pemberian Larutan Nutrisi pada Jaringan Irigasi Tetes", Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer 4(2): 42-47. 2006.
- [36] Deny, W. N., "Sistem Pengaturan Mesin Pemotongan Kentang Berbasis Programmable Logic Controller," Jurnal SMARTek, vol.8, No.4, pp. 270-279, November 2010.

Monitoring Pengendalian pH pada Sistem Penjernihan Air Menggunakan Supervisory Control and Data Acquisition (*SCADA*)

Ike Bayusari
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Sriwijaya
Indralaya, Indonesia
ikebayusari@yahoo.co.id

Okny Rahmadhanie
Jurusan Teknik Elektro

Universitas Sriwijaya
Indralaya, Indonesia
oky.rahmadhanie@yahoo.com

Ridho Irawan
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Sriwijaya
Indralaya, Indonesia

gold.ridho@gmail.com

Bhakti Yudho. S
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Sriwijaya
Indralaya, Indonesia
bhakti_yudho@yahoo.com

Abstract—Paper ini membahas tentang perancangan sistem monitoring kontrol pH pada alat penjernih air menggunakan SCADA dan memanfaatkan PLC untuk mengatur posisi bukaan *solenoid valve* berdasarkan pembacaan sensor pH. Obyek penelitian yaitu air rawa, hal ini disesuaikan dengan daerah Sumatera Selatan yang rata-rata berbentuk rawa dan sistem penjernih air rawa sangat diperlukan pada daerah rawa yang terpencil dan diluar jangkauan perusahaan air minum. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap kinerja sistem, maka dapat dikatakan baik, dimana sistem pengontrol keseluruhan alat mampu menampilkan status perubahan objek. Kemudian PLC akan mengatur buka atau tutupnya *solenoid valve* dengan *set point* pH air antara 6.5 sampai dengan 7.5.

Kata kunci: HMI/SCADA, PLC, pH Indikator

I. PENDAHULUAN

Sumatera Selatan memiliki daerah rawa yang cukup luas yaitu : 383.954 ha yang terdiri atas rawa lebak dan rawa pasang surut[1]. Karena tinggal pada daerah rawa maka penduduk diharuskan untuk mengolah air tersebut agar dapat dimanfaatkan pada kehidupan sehari-hari. Sebagaimana diketahui bahwa rawa memiliki pH bersifat asam. Namun karena daerah rawa ini kebanyakan pada daerah pinggiran dan terpencil, pengolahan air ini jarang dilakukan oleh masyarakat sehingga bila dibuatkan pada suatu daerah pengolahan air semacam PDAM mini maka akan lebih dapat bermanfaat bagi masyarakat dan dapat mengembangkan daerah tersebut.

Untuk menyempurnakan proses penjernihan air agar memudahkan dalam pengoperasiannya, maka diperlukan suatu rancangan sistem kendali yang efisien dan mampu meningkatkan kualitas serta handal.

Salah satu solusi yang bisa digunakan pada masalah ini adalah dengan merancang alat penjernihan air menggunakan sistem pengendali berbasis PLC, kemudian sistem ini selanjutnya akan dikombinasi dengan sistem monitoring SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Sistem ini merupakan sebuah pengendalian alat secara jarak jauh, dengan kemampuan memantau data - data dari alat yang akan dikendalikan. Monitoring ini diperlukan untuk dapat

memantau proses berjalannya sistem penjernihan air ini sehingga dapat diketahui jika ada kesalahan pada proses maupun proses pengendaliannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PLC

Programable Logic Controller (PLC) merupakan komponen elektronika berbasis mikroprosesor yang digunakan untuk mengontrol mesin – mesin industri[2].

Komponen dasar dari sebuah PLC tidaklah sama antara satu dengan yang lainnya bergantung kepada besarnya kapasitas memori maupun mereknya. Akan tetapi secara umum sebuah PLC sekurang-kurangnya memiliki 3 bagian yaitu :

1. Central Processing Unit (CPU)
2. *Input dan Output* Module (I/O Module)
3. Power Supply

Ladder diagram (diagram tangga) adalah bahasa pemrograman utama yang digunakan dalam PLC. Dibuat secara vertikal dengan menggunakan simbol-simbol dalam bentuk rangkaian menurut prinsip logika. Simbol-simbol tersebut diletakkan diantara dua buah garis vertikal sejajar. Garis vertikal sebelah kiri mewakili hubungan dengan tegangan sumber atau daya masukan positif. Berikut adalah jenis PLC Programming berdasarkan IEC61131-3, ada lima bahasa pemrograman yang diakui oleh standar ini[3]:

1. *Instruction List* (IL)
Pemrograman dengan menggunakan instruksi – instruksi bahasa level rendah (Mnemonic), Seperti NOT, AND dan lain sebagainya.
2. *Ladder Diagram* (LD)
Pemrograman berbasis logika relai, cocok digunakan untuk persoalan-persoalan kontrol diskret yang input/output hanya memiliki kondisi on dan off seperti pada konveyor, dan lift.
3. *Function Block Diagram* (FBD)
Pemrograman berbasis aliran data secara grafis. Banyak digunakan untuk tujuan kontrol proses yang melibatkan perhitungan-perhitungan kompleks dan akuisisi data analog.
4. *Sequential Function Chart* (SFC)

39 Metode grafis untuk pemrograman terstruktur yang melibatkan langkah-langkah rumit, seperti pada bidang robotika, peraktian kendaraan dan lain sebagainya.

5. **Structure Text (ST)**
Pemrograman ini menggunakan *statement – statement* yang umum dijumpai pada bahasa level tinggi (*high level programming*) seperti If /Then, Do/While, Case, For/Next, dan lain sebagainya. Dalam aplikasinya, model ini cocok digunakan untuk perhitungan – perhitungan matematis yang kompleks, pemrosesan tabel dan data, serta fungsi – fungsi kontrol yang memerlukan algoritma khusus.

B. SCADA

Sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) adalah suatu sistem yang terdiri dari sejumlah *Remote Terminal Unit* (RTU) yang berfungsi untuk mengumpulkan data lalu mengirimkannya ke *Master Station* melalui sebuah sistem komunikasi[4]. Sebuah sistem SCADA memberikan keleluasaan mengatur maupun mengkonfigurasi sistem. Kita bisa menempatkan sensor dan kendali di setiap titik kritis di dalam proses. Seiring dengan teknologi sistem SCADA yang semakin baik, kita bisa menempatkan lebih banyak sensor di banyak tempat sehingga semakin banyak hal yang bisa dipantau, semakin detail operasi yang bisa dilihat, dan semuanya bekerja secara *real-time*.

Secara kompleks, sistem SCADA mempunyai lima dasar tingkat atau hirarki, yaitu:

1. Tingkat instrumentasi dan alat kendali
2. Penyusunan Terminal dan RTU (Remote Terminal Unit)
3. Sistem Komunikasi
4. Master Terminal Unit (MTU)
5. Teknologi Informasi (IT) atau pengolahan data pada sistem computer

C. pH (*power of Hydrogen*)

pH adalah singkatan dari *power of Hydrogen*. pH atau derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat asam atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda[8]. pH normal memiliki nilai 7 (*netral*) sementara bila nilai pH > 7 menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa sedangkan nilai pH < 7 menunjukan keasaman. pH 0 menunjukan derajat keasaman tertinggi, dan pH 14 menunjukan derajat kebasaan tertinggi[4]. pH meter adalah sebuah alat elektronik yang berfungsi untuk mengukur pH (derajat keasaman atau kebasaan) suatu cairan ada elektroda khusus yang berfungsi untuk mengukur pH bahan-bahan semi-padat. Sebuah pH meter terdiri dari sebuah elektroda (*probe* pengukur) yang terhubung ke sebuah alat elektronik yang mengukur dan menampilkan nilai pH.

Sistem pengukuran pH terdiri dari 3 komponen sebagai berikut:

1. pH elektroda merupakan komponen dimana keluarannya berupa tegangan, dimana setiap perubahan pH akan mempengaruhi perubahan tegangan (59,2mV tiap perubahan unit pH).

2. Referensi elektroda merupakan komponen, dimana tegangan keluarannya selalu tetap sebagai referensi/ acuan.
3. pH meter merupakan *milivolt* meter yang memiliki impedansi masukan yang tinggi dan rangkaian untuk mengubah tegangan dari elektroda menjadi pembacaan pH unit.

III. METODELOGI PENELITIAN

Pada metode ini penulis akan membuat perancangan alat pada WTP (*water treatment process*) yang kemudian dikendalikan dengan RTU PLC serta dikomunikasikan dengan HMI / SCADA yang telah terprogram.

Metode ini dilakukan dengan menguji hasil perancangan alat dengan sample air rawa yang telah di jernihkan dan di ukur dengan pH meter.

Secara keseluruhan perancangan sistem *monitoring* pH (*power of-Hydrogen*), dan level *controlling* menggunakan sistem berbasis PLC dan SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) yang dapat dilihat pada fig. 1. Untuk proses penjernihan air pada penggunaannya bisa diaplikasikan dalam kehidupan sehari - hari, dimana perancangan ini dibuat secara otomatisasi.

A. Perancangan Water Treatment Process

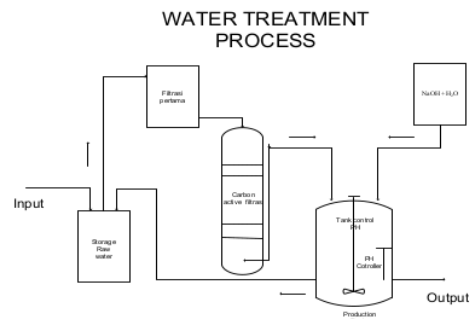


Fig. 30. Diagram alir WTP (water treatment process)

Untuk perancangan alat penjernih air yang terdiri dari sensor-sensor yang diantaranya adalah sensor pH dan sensor level, keduanya tersebut dimisalkan sebagai umpan balik dalam suatu perancangan sistem kendali, dimana umpan balik sistem tersebut berfungsi untuk mengurangi nilai *error* dalam *plan* yang akan di control hal ini terlihat pada fig. 2.

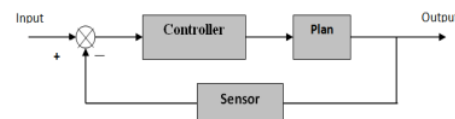


Fig. 31. Blok diagram perancangan

B. Perancangan Perangkat keras

- Perancangan mekanik sistem, Sistem ini terdiri dari sebuah motor pompa, motor DC

dan 2 buah *solenoid valve*. Motor pompa bertugas untuk memompa air rawa dari *storage* pertama ke tabung *filtrasi* kemudian setelah melalui *filtrasi* kemudian menuju ke tanki produk, motor pompa di gerakan melalui tegangan AC 220 V yang di kontrol oleh PLC. Pada *storage tank* terdapat sebuah *limit switch* yang digunakan untuk mengukur ketinggian air pada *storage* pertama, apabila *storage tank* airnya sudah semakin dikit maka akan otomatis membuat Motor ac mati. Motor DC berguna untuk memutar pengaduk agar air yang berada di *tank product* bisa larut. Pada *tank product* pH larutan di baca oleh sensor pH, apabila larutan masih jauh pH nya dari skala 7 maka *solenoid valve* pertama akan terbuka. *Solenoid* pertama berisi cairan basa untuk menetralkan air rawa yang asam. Di *tank product* terdiri dari sebuah *limit switch*. *Limit switch* berguna untuk mengukur ketinggian air, apabila ketinggian air melewati batas maksimal maka air akan di pindahkan kembali ke *storage* kemudian di saring kembali.

- Perancangan Sensor level, pada fig. 3. terlihat bahwa sensor level yang digunakan pada sistem ini yaitu *limit switch* yang di modifikasi dengan pelampung sehingga menjadi sensor level.

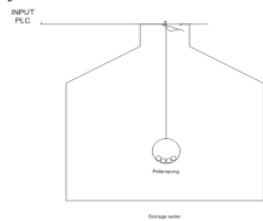


Fig. 32. Perancangan sensor level menggunakan pelampung

- Perancangan sensor pH, Sensor pH biasa digunakan di industri dan tidak cocok untuk skala lab. Maka dirancang sensor pH untuk skala laboratorium dengan menggunakan kabel tembaga yang di beri tegangan seperti yang terlihat pada fig. 4. Berikut ini :

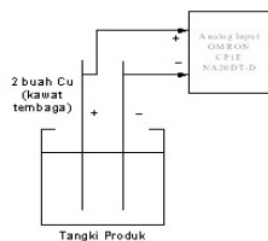


Fig. 33. Perancangan sensor pH menggunakan batang kawat tembaga

C. Perancangan Elektrikal Sistem

- Perancangan parameter setting pH, Untuk perancangan parameter setting pH, digunakan air aqua sebagai *setting parameter*.
- Perancangan input, Pada perancangan wiring input ini terdiri dari perancangan analog input dan digital input seperti terlihat pada table 1. Digital input terdiri dari *limit switch* yang terpasang pada *storage* sebagai sensor level, kemudian tombol yang digunakan yaitu tombol start dan stop. Analog input terdiri dari kabel tembaga yang terpisah pada jarak 20 mm dan dialiri arus listrik 10 V sebagai sensor pH.

TABLE VIII. PENGALAMATAN VARIABEL INPUT

Nama Variabel	Alamat pada PLC	Tipe data
Start	00.04	Boolean
Stop	00.06	Boolean
Limit switch 1	00.00	Boolean
Limit switch 2	00.01	Boolean
Limit switch 3	00.03	Boolean
Sensor pH	90	word

- Perancangan Output, Untuk perancangan *wiring output* pada PLC hanya terdiri dari digital *output* yaitu terdiri dari perancangan *solenoid valve*, motor DC, dan motor AC sebagaimana terlihat pada table II berikut :

TABLE IX. PENGALAMATAN VARIABEL OUTPUT

Nama Variabel	Alamat pada PLC	Tipe data
<i>Solenoid valve 1</i>	100.00	BOOL
<i>Solenoid valve 2</i>	100.01	BOOL
<i>Valve storage</i>	100.02	BOOL
Motor DC	100.04	BOOL
Motor Pump	100.05	BOOL

D. Perancangan Perangkat Lunak

- Perancangan Program PLC, Perancangan program PLC menggunakan software CX – Programmer dengan metode *Ladder diagram*.
- Perancangan HMI / SCADA, Perancangan gambar tampilan pada perubahan status objek bergerak menggunakan software CX – Designer.

E. Perancangan HMI / SCADA

Proses jalannya kerja pada perancangan alat penjernih air dan komponen - komponen perangkat keras yang akan dikendalikan dengan menggunakan HMI / SCADA. Lihat diagram alir poses penjernihan air pada fig. 5. berikut ini :

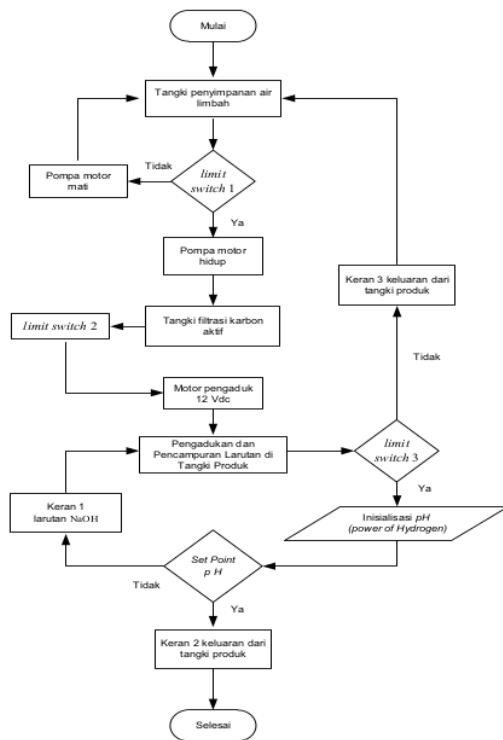


Fig. 34. Diagram alir proses pengolahan air

Secara keseluruhan perancangan sistem *monitoring* pH (*power of -Hydrogen*), dan level *controlling* menggunakan sistem berbasis SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Untuk proses penjernihan air pada penggunaannya bisa diaplikasikan dalam kehidupan sehari - hari, dimana perancangan ini dibuat secara otomatisasi.

Adapun dalam perancangan perangkat keras berupa WTP (*Water Treatment Process*) yang meliputi *input* dan *output*. Dimana secara garis besar berikut adalah visualisasi dari sistem proses otomatisasi *water pH indicator* yang akan dibuat dari mulai proses awal penjernihan hingga keluaran berupa proses akhir dalam pengawasan dan pembacaan pH indikator sebagai pengontrolnya. Dimana secara garis besar berikut adalah visualisasi dari sistem proses otomatisasi *water pH indicator* yang akan dibuat dari mulai proses awal penjernihan hingga keluaran berupa proses akhir dalam pengawasan dan pembacaan pH indikator sebagai pengontrolnya.

Menampilkan semua objek sistem yang akan dikendalikan mulai dari *start awal storage raw water tank*, *carbon active Tank*, *product tank*, *NaOH tank*, dan *pH indicator*. Hingga sampai pada tahap hasil keluaran pada tampilan pH indikator saat kondisi *set point* yang diinginkan, beserta *set point* yang akan dipilih dalam menentukan pH normal. Dibawah ini adalah tampilan keseluruhan alat pada proses penjernihan air WTP (*Water Treatment Process*), dari objek tampilan keseluruhan yang akan dikendalikan

menggunakan *monitoring* dan *controlling* HMI / SCADA *Cx-Designer* v.3.4 adalah fig. 6. sebagai berikut :

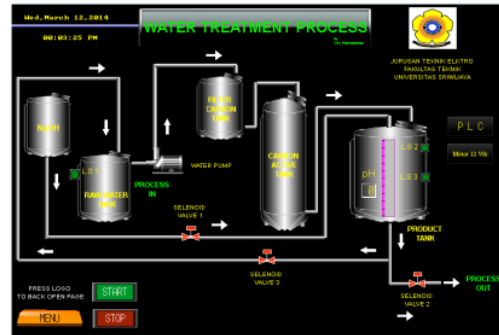


Fig. 35. WTP (water treatment process) pada CX-Designer

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

A. Pengujian Keseluruhan Alat

Pada pengujian keseluruhan alat yang di uji adalah air rawa sebelum dan sesudah melalui filter dan dikontrol. Pengujian di lakukan melihat pH air sebelum dan sesudah melalui filter. Adapun hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel III dan IV dan resolusi pada program dapat dilihat pada fig. 7. dan fig. 8. berikut ini :

TABLE X. PENGAMATAN PH, ARUS, DAN RESOLUSI

Nama Larutan	pH	Arus (mA)	Resolusi di PLC
Air Rawa	5	9.06	1928

TABLE XI. PENGAMATAN PH, ARUS, DAN RESOLUSI SETELAH DI KONTROL

Nama Larutan	pH	Arus (mA)	Resolusi di PLC
Air Rawa	7	12.4	3270



Fig. 36. Resolusi air rawa sebelum dari filtrasi



Fig. 37. Resolusi air hasil pengontrolan setelah dari filtrasi

B. Status Perubahan Objek HMI / SCADA

Pengujian jalan kerja sistem dimulai dengan menekan tombol *Start* pada layar seperti yang terlihat pada fig. 9. Pada tampilan di HMI / SCADA ini yang telah disediakan akan mengaktifkan lampu indikator berwarna hijau sebagai tanda bahwa sistem telah berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Melalui tampilan HMI / SCADA ini, sistem mampu dikendalikan dan dapat melihat status perubahan objek yang dikendalikan dari layar monitor PC (*Personal Computer*), dimana pada layar *screen* monitor terdapat sistem visualisasi objek gambar bergerak yang akan memonitor dan mengontrol semua jalannya kerja alat keseluruhan dari kondisi mulai hingga proses selesai seperti yang terlihat pada fig. 10 berikut :

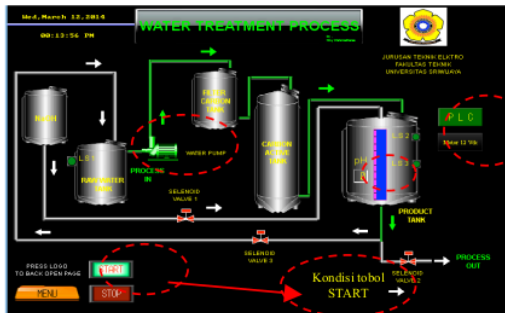


Fig. 38. Tampilan HMI / SCADA saat test mode

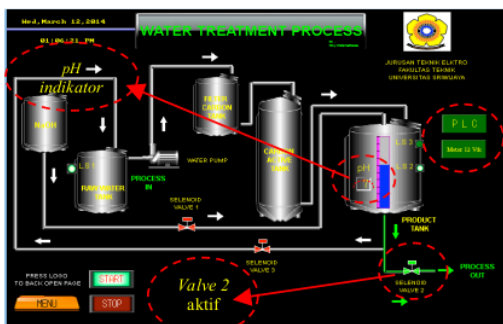


Fig. 39. Tampilan HMI / SCADA saat pH indikator mencapai set point

Larutan yang berada di tangki produk akan menghasilkan keluaran dengan pembacaan nilai *set*

point 7 pada pH indikator yang akan mengontrol keluaran pada bukaan *valve* 2. Adapun perubahan objek tampilan pada HMI / SCADA akan menggambarkan perubahan terhadap status objek yang di kontrol.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian terhadap sistem yang telah dibuat, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Solenoid valve 1 dan 2 bekerja berdasarkan pembacaan pH sensor oleh PLC, apabila arus yang diterima oleh PLC sudah sesuai set point.
2. Monitoring proses penjernihan air yang dilakukan secara otomatisasi berbasis SCADA ternyata lebih mudah penggunaannya dalam melakukan pengawasan, pengontrolan, dan pengambilan data secara *real time*.
3. Air rawa yang memiliki pH 5 (asam) dapat di netralkan dengan sistem WTP ini.

REFERENCES

- [1] http://www.pu.go.id/satminkal/dit_sda/data%20buku/buku%20sda/sumsel.pdf, diakses pada tanggal 25 April 2014 pukul 21.25 WIB.
- [2] B. Y. Suprpto. "Prototipe Monitoring Pengeringan Blanket Karet Menggunakan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)". In: Prosiding Seminar Nasional SciEtec 2012. Program Magister dan Doktor Fakultas Teknik Universitas Brwajaya, Malang, 2012
- [3] J. Hugh. "Automating Manufacturing Systems with PLC". GNU Free Documentation License. 2008.
- [4] M. Z. Lahlou, "SCADA (System Control and Data Acquisition)". Teach Brief West Virginia University. Universitas Diponogoro. Semarang. Bab 1. 2012.
- [5] pH meter, http://id.wikipedia.org/wiki/PH_meter Diakses, Januari 2014.
- [6] A. E. Putra. "DSP & Embedded Electronics," <http://agfi.staff.ugm.ac.id>, diakses Januari 2014.

Simulasi Kontrol Bilateral 1 DOF Haptic Manipulator Berbasis Reaction Force Observer

V¹⁰ Permatasari
Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh
November
Surabaya, Indonesia
vita12@mhs.ee.its.ac.id

Djoko Purwanto
Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh
November
Surabaya, Indonesia
djoko@ee.its.ac.id

Tri Arief Sardjono
Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh
November
Surabaya, Indonesia
sardjono@elect-eng.its.ac.id

Abstrak—Kontrol bilateral merupakan suatu kontrol yang mentransmisikan informasi posisi dan gaya secara dua arah antara dua robot yang memiliki konfigurasi master slave, sehingga mampu merasakan sensasi sentuhan. Teknik ini diimplementasikan untuk telemedis seperti *telesurgery robot*. Penelitian ini merupakan penelitian awal yang membahas simulasi sistem 1 DOF *haptic manipulator* menggunakan kontrol bilateral berbasis *reaction force observer*. Untuk menghasilkan sensasi sentuhan, informasi harus memiliki bandwidth yang lebar. Karena itulah digunakan DOB dan dimodifikasi menjadi RFO untuk mengestimasi gaya reaksi lingkungan tanpa menggunakan sensor gaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulasi telah berhasil memenuhi syarat kontrol bilateral

Kata Kunci—Haptic; Kontrol Bilateral; Reaction Force Observer

I. PENDAHULUAN

Dalam penanganan medis seperti operasi bedah membutuhkan tindakan yang cepat dan tepat. Faktor-faktor yang menjadi kendala antara lain jarak tempuh lokasi dan ketidakmerataan persebaran maupun jumlah dokter spesialis. *Telesurgery* adalah salah satu teknologi yang mampu mengatasi permasalahan tersebut. Robot Da Vinci adalah robot *telesurgery* yang ditemukan tahun 1998 dan telah digunakan untuk pengujian klinis. Robot ini memiliki banyak resiko karena tidak memiliki fungsi haptic dan hanya menggunakan umpan balik visual untuk memperoleh informasi [1]. *Haptic* adalah teknologi manipulasi melalui sentuhan. *Telesurgery*, menggunakan sistem kontrol bilateral dengan konfigurasi master slave untuk menghasilkan umpan balik sentuhan. Sistem kontrol ini memungkinkan komunikasi dua arah antara dokter bedah sebagai operator robot master dan robot slave yang melakukan kontak fisik dengan pasien, sehingga informasi kondisi pasien dapat diketahui. Sensasi sentuhan menyebabkan master yang tidak hanya dapat menggerakkan slave, tetapi juga mampu merasakan sensasi sentuhan slave terhadap obyek.

Penelitian sebelumnya menggunakan sensor strain gage untuk mendapatkan informasi gaya [2]. Kelemahan penggunaan sensor gaya adalah instalasi yang rumit dan mahal. Untuk memproduksi sensasi sentuhan, informasi harus memiliki bandwidth yang lebar. *Disturbance Observer* (DOB) dapat digunakan memperlebar bandwidth [3]. Penelitian lain menggunakan DOB dan dimodifikasi sebagai *reaction*

force observer (RFO) untuk mengestimasi gaya tanpa menggunakan sensor gaya [4].

Indonesia sebagai negara kepulauan yang luas sangat membutuhkan robot *telesurgery*, namun terkendala oleh harga yang sangat mahal. Diperlukan penelitian sebagai solusi tersebut. Penelitian-penelitian awal di Indonesia terkait kontrol bilateral antara lain membahas kontrol bilateral menggunakan mikrokontroler [5], mengimplementasikan kontrol bilateral robot 1 DOF menggunakan potensiometer untuk mendapatkan informasi posisi dan sensor arus untuk mendapatkan informasi gaya [6], dan menggunakan *dynamixel servo* sebagai *plant* sekaligus sensor [7]. Penelitian ini adalah penelitian awal yang membahas simulasi sistem 1 DOF *haptic manipulator* menggunakan kontrol bilateral berbasis RFO. Hasil penelitian ini diharapkan mampu membuat simulasi sistem kontrol bilateral 1 DOF *haptic manipulator*.

II. DASAR TEORI

A. Disturbance Observer (DOB)

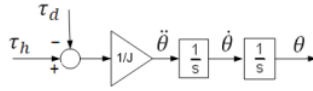
Kontroler pergerakan yang mempunyai performansi tinggi tahan terhadap perubahan beban dan variasi parameter. DOB adalah metode efektif untuk mendapatkan sistem *robust* terhadap gangguan dan model *plant* yang tidak pasti. Model *plant* direpresentasikan dengan persamaan (1) hingga (4) [1,4]. Perhitungan DOB direpresentasikan persamaan (5) hingga (8).

Gambar 1 menunjukkan model motor elektrik yang dikontrol menggunakan arus. Dimana τ_h , τ_b , I , $\ddot{\theta}$ secara berurutan adalah torsi yang dihasilkan, torsi beban, inersia motor, dan percepatan angular

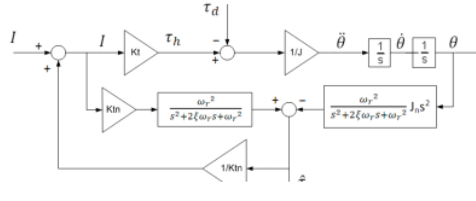
$$J\ddot{\theta} = \tau_h - \tau_d \quad (1)$$

Total torsi yang dihasilkan dan torsi beban didapatkan

dengan (2) dan (3). Dimana K_t , I , τ_{int} , τ_{eks} , F_c , $D\dot{\theta}$ secara berurutan adalah koefisien torsi, arus torsi, torsi interaktif yang termasuk



Gambar 13. Model Motor



Gambar 14. DOB

di dalamnya gesekan, corolis dan sentrifugal, torsi eksternal, gesekan coulomb dan *viscous*.

$$\tau_h = K_t \quad (2)$$

$$\tau_b = \tau_{int} + \tau_{eks} + (F_c + D\dot{\theta}) \quad (3)$$

Substitusi (2) dan (3) ke (1) menghasilkan (4)

$$J\ddot{\theta} = K_t I - (\tau_{int} + \tau_{eks} + F_c + D\dot{\theta}) \quad (4)$$

Parameter J berubah berdasarkan konfigurasi mekanik sehingga mengalami deviasi ΔJ terhadap nilai nominalnya J_n seperti direpresentasikan (5). Parameter K_t berubah berdasarkan posisi rotor motor elektrik akibat distribusi fluks magnetik sehingga mengalami deviasi ΔK_t terhadap nilai nominalnya K_{tn} seperti direpresentasikan (6).

$$J = J_n + \Delta J \quad (5)$$

$$K_t = K_{tn} + \Delta K_t \quad (6)$$

Torsi gangguan (*disturbance*) τ_d dituliskan di (7)

$$\tau_d = \tau_b + \Delta J\ddot{\theta} - \Delta K_t I \quad (7)$$

Estimasi torsi gangguan $\hat{\tau}_d$ dituliskan (8) yang merupakan τ_d yang diberi filter LPF dimana ω_d merupakan frekuensi cut off nya. Gambar 2 menunjukkan DOB.

$$\hat{\tau}_d = \frac{\omega_d^2}{s^2 + 2\xi\omega_d s + \omega_d^2} \tau_d \quad (8)$$

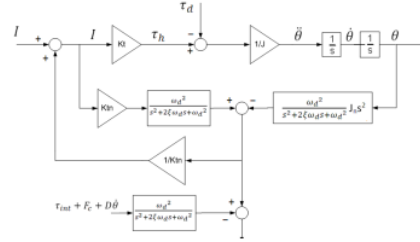
B. Reaction Force Observer (RFO)

RFO merupakan modifikasi dari DOB yang digunakan untuk mengestimasi torsi reaksi lingkungan. Estimasi torsi eksternal $\hat{\tau}_{eks}$ dituliskan di (9). Estimasi tersebut adalah torsi eksternal τ_{eks} yang diberi filter LPF dimana ω_r merupakan frekuensi cut off nya [1].

$$\hat{\tau}_{eks} = \frac{\omega_r^2}{s^2 + 2\xi\omega_r s + \omega_r^2} (K_{tn} I - J_n \ddot{\theta}) - (\tau_{int} + F_c + D\dot{\theta}) \quad (9)$$

C. Kontrol Bilateral

Sistem kontrol bilateral adalah sistem kontrol untuk teleoperasi dengan umpan balik haptic. Pada kontrol bilateral, informasi posisi dan gaya master dan slave ditransmisikan ke



Gambar 15. RFO

dua robot secara dua arah [8]. Kontrol bilateral direpresentasikan oleh persamaan (10) sampai (16) [1,4,7].

Agar dapat merasakan sensasi sentuhan, sistem kontrol bilateral harus memenuhi dua syarat yang direpresentasikan di (10) dan (11). Dimana θ_m , τ_m , τ_s secara berurutan adalah sudut master, sudut slave, torsi aksi yang dilakukan operator dan torsi reaksi oleh lingkungan.

$$\theta_m - \theta_s = 0 \quad (10)$$

$$\tau_m + \tau_s = 0 \quad (11)$$

Sistem ini menggunakan dua buah mode yaitu *differensial mode* (τ_c) untuk mengontrol torsi dan *common mode* (θ_d) untuk mengontrol sudut yang direpresentasikan (12) dan (13).

$$\tau_c = \tau_m + \tau_s \quad (12)$$

$$\theta_d = \theta_m - \theta_s \quad (13)$$

Karena setiap komponen berhubungan dengan percepatan maka dapat menjadi (14)

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta}_c \\ \ddot{\theta}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_m \\ \ddot{\theta}_s \end{bmatrix} \quad (14)$$

Percepatan referensi sudut dan torsi dapat direpresentasikan di (15)

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta}_m \\ \ddot{\theta}_s \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_1 \ddot{\theta}_c \\ K_2 \ddot{\theta}_d \end{bmatrix} \quad (15)$$

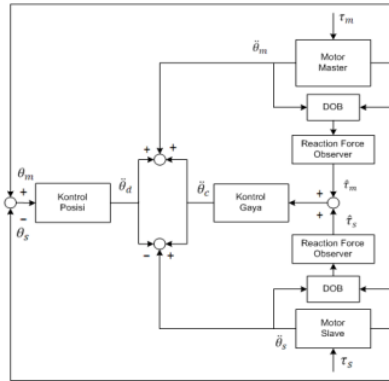
Dimana K_1 dan K_2 secara berurutan adalah kontroler torsi dan kontroler sudut.

III. METODA

Dalam metoda dibahas tentang desain simulasi, dan hasil simulasi.

A. Desain Simulasi

Gambar 4 menunjukkan desain simulasi sistem kontrol bilateral yang terdiri atas master dan slave. Masing-masing plant motor master dan slave menggunakan DOB untuk menghilangkan gangguan-gangguan. Gangguan yang



Gambar 4. Desain Simulasi

dihilangkan termasuk gangguan eksternal yang merupakan torsi input untuk menggerakkan master/slave. Oleh karena itu, DOB dimodifikasi menjadi RFO untuk mendapatkan estimasi torsi eksternal yang dibutuhkan. Torsi estimasi master $\hat{\tau}_m$ dan slave $\hat{\tau}_s$ terlebih dahulu diubah dalam percepatan kemudian dijumlahkan sesuai [13] sehingga mendapatkan $\hat{\theta}_c$. Sedangkan posisi sudut diubah dalam percepatan kemudian dikurangkan sesuai [14] sehingga mendapatkan $\hat{\theta}_d$. $\hat{\theta}_c$ dan $\hat{\theta}_d$ dikontrol agar bernilai 0 sehingga master/slave mampu merasakan sensasi sentuhan terhadap slave/master.

B. Simulasi

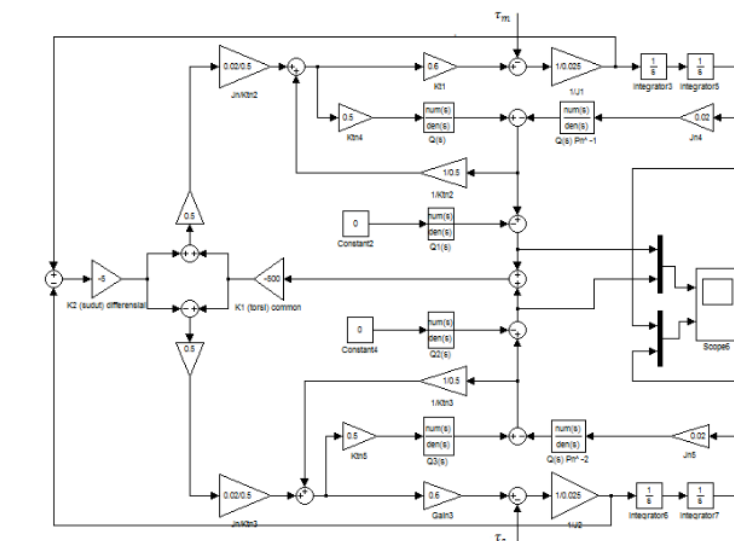
Terdapat dua kondisi dalam simulasi. Kondisi pertama adalah kondisi dimana master digerakkan dengan slave tidak menyentuh obyek sehingga slave bergerak bebas mengikuti master (*tracking*). Hal ini disimulasikan dengan memberikan torsi sebesar τ_m pada master dan 0 pada slave seperti ditunjukkan Gambar 5. Kemudian mengamati grafik torsi dan posisi master dan slave. Kondisi kedua adalah kondisi dimana slave digerakkan dan master tidak menyentuh obyek sehingga master bergerak bebas mengikuti slave. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh gaya reaksi obyek oleh slave terhadap master. Hal ini disimulasikan dengan memberikan torsi slave sebesar τ_s dan 0 pada master. Kemudian mengamati grafik torsi dan posisi master dan slave. Simulasi dibuat dengan mengasumsikan bahwa tidak ada gaya gesekan yang terjadi.

Berikut ini adalah nilai parameter yang digunakan di simulasi.

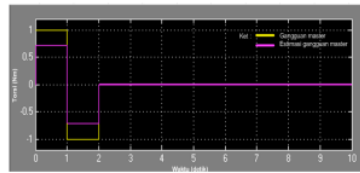
J	$= 0.025$	J_n	$= 0.02$
K_t	$= 0.6$	K_{tn}	$= 0.5$
ω_d	$= 1000$	ω_r	$= 900$
K_1	$= -500$	K_2	$= -5$

C. Hasil Simulasi

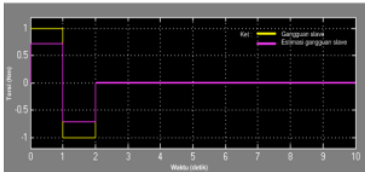
Gambar 6 (a) menunjukkan estimasi gangguan motor master ketika master diberikan torsi sebesar τ_m . Gambar 6 (b) menunjukkan estimasi gangguan motor slave ketika slave diberikan torsi sebesar τ_s . Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi ketika master diberikan torsi sebesar τ_m . Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi ketika slave diberikan torsi sebesar τ_s . Ketika motor master diputar selama beberapa detik, yang disimulasikan dengan adanya percepatan sebesar 0.7 Nm dan perlambatan sebesar -0.7 Nm seperti ditunjukkan Gambar 7(a), slave dapat bergerak bebas dengan perbedaan fasa torsi sebesar 180° terhadap master.



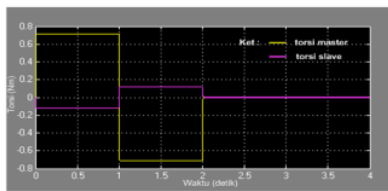
Gambar 16. Simulasi Sistem



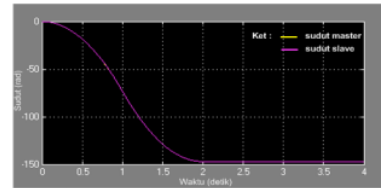
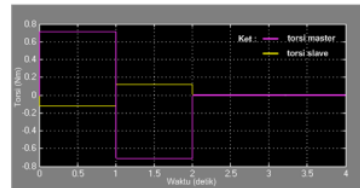
(a)



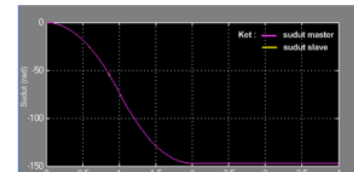
Gambar 6. Hasil Simulasi Estimasi Torsi Gangguan: (a) master, (b) slave



(a)

Gambar 7. Hasil Simulasi saat Diberikan Torsi Sebesar τ_m : (a) torsi, (b) posisi

(a)

Gambar 8. Hasil Simulasi saat Diberikan Torsi Sebesar τ_g : (a) torsi, (b) posisi

Sudut yang dibentuk master slave berhimpit dan bergerak dari 0 rad menuju -150 rad. Seperti ditunjukkan Gambar 7 (b). Demikian pula pada simulasi kedua, saat slave diputar selama beberapa detik, yang disimulasikan dengan adanya percepatan sebesar 0.7 Nm dan perlambatan sebesar -0.7 Nm

seperti ditunjukkan Gambar 8(a), master dapat bergerak bebas dengan perbedaan fasa torsi sebesar 180° terhadap slave. Sudut yang dibentuk master slave berhimpit bergerak dan dari 0 rad menuju -150 rad. Seperti ditunjukkan Gambar 8(b). Hal ini telah sesuai syarat kontrol bilateral dalam

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, gangguan dapat diestimasi cukup baik yaitu sebesar 0.7 Nm. Error terjadi karena parameter plant nominal dalam DOB dibuat berbeda dengan plant untuk menggambarkan kondisi aktual. Ketika master mengalami percepatan dengan torsi sebesar 0.7 Nm, slave bergerak dengan torsi sebesar -0.12 Nm. Ketika master mengalami perlambatan dengan torsi sebesar -0.7 Nm, slave bergerak dengan torsi sebesar 0.12 Nm. Sehingga tampak beda fasa master dan slave sebesar 180° . Sudut yang dibentuk master slave berhimpit bergerak dan dari 0 rad menuju -150 rad. Demikian pula ketika slave mengalami percepatan dengan torsi sebesar 0.7 Nm, master bergerak dengan torsi sebesar -0.12 Nm. Ketika slave mengalami perlambatan dengan torsi sebesar -0.7 Nm, slave bergerak dengan torsi sebesar 0.12 Nm sehingga tampak beda fasa master dan slave sebesar 180° . Sudut yang dibentuk master slave berhimpit bergerak dan dari 0 rad menuju -150 rad. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem dapat bekerja sesuai syarat kontrol bilateral.

REFERENSI

- [1] S. Katsura, W. Iida, K. Ohnishi, "Medical Mechatronics-An application to haptic forceps", *Annu. Rev. Control*, vol 29, no. 2, pp. 237-245, 2005.
- [2] Y. F. Li, C. B. X. B. "On the dynamic behavior of a force/torque sensor for robots", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 47(1), 304-308, 1998.
- [3] K. Ohnishi, M. Shibata, dan T. Murakami, "Motion Control for advanced mechatronics," *IEEE/ASME Transaction on Mechatronics*, 1(1), 56-57, 1996.
- [4] T. Murakami, F. Yu, K. Ohnishi, "Torque sensorless control in multidegree-of-freedom manipulator," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 40, no. 2, pp. 259-265, 1993.
- [5] A. Muis dkk, "Microcontroller based Bilateral Control: A Comprehensive Study", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2009.
- [6] Wicaksono, "Implementasi Bilateral Control pada 1 DOF Telemanipulator", Jurusan Teknik Elektro, FTI, ITS, 2012.
- [7] Y. Dewanto, "Rancang Bangun Bilateral Teleoperation dengan Teknik Scaling Menggunakan PI Controller", Universitas Indonesia.
- [8] H. Tanaka dkk, "Implementation of Bilateral Control System Based on Acceleration Control Using FPGA for Multi-DOF Haptic Endoscopic Surgery Robot", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 56, NO. 3, Maret 2009.

Informatics

A Study on Hepatitis-B Phases Diagnosing Disease Using Logical Inference And Data Mining

Giri Wahyu Wiriasto
Electrical Engineering
Mataram University
Mataram, Indonesia
giriwahyuwiriasto@gmail.com

I Putu Aditya Wiguna
Medical Faculty Dept.
Mataram University
Mataram, Indonesia

Indira Puteri Kinasih
Math Education and Natural
Science
IKIP Mataram
Mataram, Indonesia

Abstract—Application of datamining is used for assist an expert, physician or specialist to establish diagnosis of Hepatitis disease. Hepatitis-B is an extremely dangerous, contagious and complicated disease. Using various parameter related to existing symptoms, the laboratory test result is used by the physician to diagnose this disease. The capabilities of physician can be elaborate with intelligent system such as a digital assistants used to measure accuracy level of diagnosis. In this study, we propose alternative approach with widely perspective for diagnosing phases in Hepatitis-B using datamining and logical inference methods. Datamining models employing random forest (RF) algorithm with the most significant classification result; 97.42%, followed C.45 algorithm, 84.52%, and CART algorithm, 70.97%. This classification result provided two classes, patient with Hepatitis or not. But the virus type were still unknown. More serology and virology test are needed to improve our parameters result about the type of that Hepatitis-B (HBV) virus. We employing logical inference for get some rules of decision and make inference whether a patient has an acute or chronic level.

Keywords—Hepatitis-b, serology, virology, biochemical, datamining, decision tree, CART algorithm, random forest, logical inference

I. INTRODUCTION

The diagnosis is a physician efforts to identify a state based on scientific parameters and prognostic. Identification used in all areas of expertise, medicine problems, business, science, engineering, etc. On medicine, diagnosis is made by physician to identify a disease or other medical disorders initially by signs or symptoms, then also the psychological factor analysis and the results of laboratory tests of patients [1]. The validity of a diagnosis by a physician will soon provide a significant treatment effect, otherwise if there is a misdiagnosis would be a fatal disadvantage for patients, and these are problems issue. Required are reliable an expert physician as specialist to perform diagnostics on a difficult situation above. However, the availability of specialists is very limited by place and time. The specialist is left to deal with any case without availability of sufficient time and struggling to improved that own capacity to the development of new knowledge in their field where an increase in

patient expectations for healing because of increased health care expectations by the rapid growth of medical knowledge is more complete [1]. During in the past studied period, almost all physician formed and confronted to make a diagnosis of a disease and formulate the type of treatment to be provided and supported a complete understanding on the knowledge base of their knowledge, that ability are increased [17]. in order to keep their memory capabilities continuously receives information, physician also advise to continuously improve their own with advanced training activities and suggested to follow the certification process repeated. However, the limited memory of human brain and the rapidness of science-technology development lead some physician to use their knowledge and experiences to design a procedure to help them diagnose a certain disease [18] which is possible to be re-configured, considered, and revised [19].

In the other hand, there is a concept related to intelligent system called machine learning which is based on statistics and mathematics knowledge. Machine learning can be a very useful and helpful tool with a various validity level based on their models; for example an expert system, supervised and unsupervised intelligent and also datamining and machine learning. The use of machine learning in medical cases have been often raised and continue to be developed. The use of machine learning in the medical field that have complementary capabilities possessed an expert or specialist experts, including complement physician memory by storing any information obtained expert with a very large capacity and permanently into the computer. Machine learning is used as an physician's assistant in making an objective diagnosis and will give a solution for method of treatment of a certain disease with a certain degree of validity and reliability.

The purpose of this study was to embed an intelligent data mining system for Hepatitis-B diagnosis based on several phases. Here we use machine learning data mining using 3 types of Tree methods provided by the WEKA data mining tool [21] employed to 155 datasets in phase_1. We also use expert system method by using inferential logic of the

process parameters in phase_1, phase_2 (figure 3a) and phase_3 (figure 3b).

II. LITERATURE REVIEW

A. Previous Research

There has not been much research on Hepatitis diagnosis using a dataset of UCI Machine learning database to test the model algorithms, especially for the use of Tree Models on Hepatitis cases, one of them that use this model is Stern and Dobniker CART classification with accuracy result is 82.7% [26]. This dataset is presented and used by gail gong., Et.al [7] as a diagnostic parameters of liver function and Hepatitis indicated with sample $n = 155$, using 19 attribute parameters [6] [7] [8], 13 of them checking the prodromal phase, 3 attributes (billirubin, Alk Phosphate, SGOT) to measure the work function of the liver, and the two parameters measuring the synthetic function (ProTime, albumin) [14].

TABLE I. LIVER DISEASE DATASET ATTRIBUTES DESCRIPTION

Attribute Parameter	Values	Information
25	10, 20 ... 80	prodromal phase (symtomatic)
Sex	Male, female	
Steroid	no, yes	
Antivirals	no, yes	
Fatigue	no, yes	
Malaise	no, yes	
Anorexia	no, yes	
Liver Big	no, yes	
Liver Firm	no, yes	
Pleen Palpable	no, yes	
Spider	no, yes	
Ascites	no, yes	
Varices	no, yes	
Histology	no, yes	
25	0.39, 0.8, 1.2, 2.0, 3.0, 4.0	hepar function Test
Alk Phosphate	33, 80, 120, 160, 200, 250	
SGOT	13, 100, 200, 300, 400, 500	
Albumin	2.1, 3.0, 3.8, 4.5, 5.0, 6.0	Synthetic function test
ProTime	10, 20, ..., 90	

The above parameters were able to describe the liver function and provide an overview of Hepatitis infection risk. However, the type of the virus is not confirmed yet, another types of laboratory tests will be required. Panchal., Et.al [2], Uttreshwar., Et.al [1] [4] has been added serology examination parameters such as HBsAg and HBeAg examination to determine the type of virus that infected the patients.

III. HEPATITIS-B DESCRIPTION

WHO data specifically mentioned that Southeast Asia is an endemic region of Hepatitis A, B, C, D or E which is also called by HAV (Hepatitis A Virus), HBV, HCV, HDV, or HEV with the highest

prevalence is larger than 8% [12]. Hepatitis associated in any swelling, inflammation, or irritation of the liver, that can be caused by various factors. Special HBV, a DNA virus is transmitted through perinatally, sexually, unsterilized needles and blood tranfussion [6] [14] [15].

Currently the diagnosis of Hepatitis-B (HBV positive) can be specified as acute or chronic based on some kind of examination including serology, virology, biochemical and histologic. In serology, examination is recommended for the diagnosis and evaluation of infection include examination of HBsAg, HBeAg, anti-HBe and HBV-DNA [10] [11] plus immunity labs check Anti-HBs, anti-HBe total, anti HBsIgm and anti-HBe (see table-2).

Virology examination is employed to measure the level of virus replication through an increase number of HBV-DNA serum. Biochemical examinations can be describe as measuring levels of ALT / SGPT (alanine-aminotransferase), AST / SGOT (aspartate-aminotransferase), Alkaline-Phosphate, billirubin. Increased levels of ALT describe nekro-inflamation activity or viral infection. Patients with a nekro-inflamation process (chronic active reactive) showed ALT levels are heavier than the normal ALT. This examination is considered as a prediction of the histologic picture. Histologic examination performed to assess the degree of liver damage by using biopsy [12] [16].

IV. INTELLIGENT SYSTEM ON MEDICINE

A. Logical Inference

Logical inference is used to facilitate the observation of parameters based on the development of expert systems in the medical field by providing a set of premise. This system is based on a set of rules that have been created based on the logic of human reasoning. This system is also called as a knowledge used as a rule-based expert systems. In the diagnosis of Hepatitis-B, the factor specification parameters using 5 last attribute in Table 1 as a first rules and also using 9 attribute contained in Table - 2 as a second rules and the third rule is used as a guide in the design of expert systems. The type of Hepatitis-B namely acute HBV, resolved infection (zero conversion), vaccination, chronic with immune tolerance phase , immune clearance phase with chronic, chronic with immune control phase , chronic phase with immune escape , occult condition , or the last reactivation of HBV can be obtained from these parameters. So, there are 4 types of Hepatitis-B condition: accute condition, one accute condition, four chronic condition, 1 occult condition and 1 reactivation condition. The condition changing that we mentioned above is based on a judgedment after analysis. The model consists of logic rules that satisfied these following rules:

Rules-1

- IF (Bilirubin > 0.38) \wedge (Alk Phosphate > 33) \wedge (SGOT > 13) \wedge (Albumin > 2.1) \wedge (Protime > 9) \therefore Hepatitis

Rules-2

- IF (HBsAg = Positive) \wedge (Anti-HBs = Negative) \wedge (Anti-HBc-total = Positive) \wedge (Anti-HBcIgM = Positive) \wedge (HBeAg = Positive) \wedge (Anti-HBe = Positive/Negative) \wedge (HBV-DNA = High) \wedge (ALT ==High) \therefore Hepatitis-b ACCUTE

Rules-3

- IF (HBsAg = Positive) \wedge (Anti-HBs = Negative) \wedge (Anti-HBc-total = Positive) \wedge (Anti-HBcIgM = Negative) \wedge (HBeAg = Positive) \wedge (Anti-HBe = Negative) \wedge (HBV-DNA > 20000) \wedge (ALT ==High) \therefore Hepatitis-b CHRONICS active

B. Datamining and WEKA tools

Application of data mining in medical have a significant role, but the degree of success depends on the availability of good data. We should begin to think about how well organized the data. With the presence of datamining techniques, we can predict and make a classification based on the training data set [22]. WEKA tools v.3.6.8. datamining an application developed by Waikato University [20] [21] is a practical tool in data mining concepts. These tools are very helpful in the process of classification for diagnosis of Hepatitis interests of existing datasets. This tool also provides a choice of various methods in intelligent systems domain. In this case, we use the Tree method : Decision Tree CART, C4.5 and Random Forest.

C. Tree Method

Decision-tree model was developed by Breiman., El al (1984), with a various development processes of tree induction. Two among them which is used today is the induction of a model with the CART and C4.5 algorithms while the random forest method is the development of Tree method. Classification Trees used for each observation of the learning samples obtained later in a particular class as output. In order to achieve a Tree class will be established as rules by using a calculation, such as searching for the root by using a value called Entropy, splitting rule, leaf formation as a class and pruning. In Figure 1: given simple rules tree with t_{parent} as root. P_{left} and P_{right} as liaison with child nodes and t_{left} t_{right} as splitting parameters of tree.

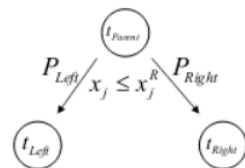


Fig. 1. Splitting Algorithm of Tree. [23]

D.1. ART Algorithm

The CART algorithm is based on Classification and Regression Trees. A CART tree is a binary decision tree that is constructed by splitting a node into two child nodes repeatedly, beginning with the root node that contains the whole learning sample [24].

CART methodology consists of tree parts [23]:

1. Construction of maximum tree
2. Choice of the right tree size
3. Classification of new data using constructed tree

D.2. C4.5 Algorithm

C4.5 Algorithm were a ID3 Algorithm development. There are some development including the pruning process for the data that is considered over-fitting. C4.5 also handle numeric variables with parameters either discrete or continuous. This following algorithm is satisfied the C4.5 algorithm [25]:

1. Choosing splitting attributes
2. Ordering of splitting attributes
3. Number of splits to take
4. Balance of tree structure
5. Pruning the decision tree after its creation
6. Stopping criteria

D.3. Random Forest Algorithm

The random forests algorithm (for both classification and regression) is as follows [26] (see illustrated in figure 2):

1. Draw ntree bootstrap samples from the original data.
2. For each of the bootstrap samples, grow an unpruned classification or regression tree, with the following modification
3. Predict new data by aggregating the predictions of the ntree trees.

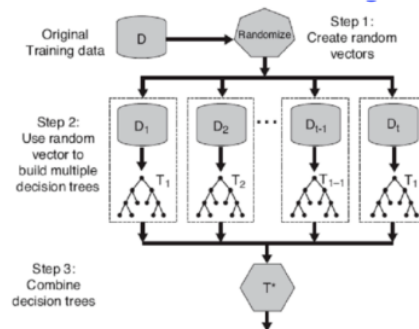


Fig. 2. RF algorithm illustrated. (Tree-1..Tree-n) [27]

An estimate of the error rate can be obtained, based on the training data, by the following:

1. At each bootstrap iteration, predict the data not in the bootstrap using the tree grown with the bootstrap sample.
2. Aggregate the OOB (out-of-bag) predictions. Calculate the error rate, and call it the OOB estimate of error rate.

V. EXPERIMENTAL APPROACH AND RESULT

A. Experimental Approach

Diagnosis in special cases such as liver disorders or Hepatitis-B is very complicated. By simply using the attribute parameters as mentioned in Table 1, and by looking at the high complexity of this disease [16], it is decided to simply use these attribute as an initial diagnostic stage (phase_1) categories. Later on phase_2 we use an additional attribute parameter to determine whether the virus is the HBV type and had an acute viral infection level (see figure 3a). Whereas Phase_3 condition is described the chronic level of virus infection (see figure 3b):

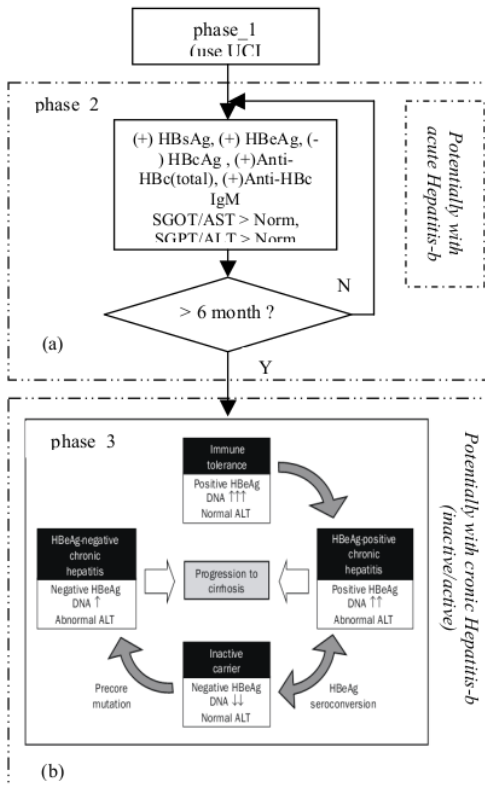


Figure 3. our purpose phase;

Fig. 3. (a) after phase_1, there are new parameter attribute such as HbsAg, HbeAg, HbcAg that can be used to the next examination. Whereas SGOT and ALT are also re-examined.

Fig. 3. (b) Phases of chronic Hepatitis-b virus infection. White arrow state the hispatology changes, grey arrows state the serology marker between phase. Up-and down facing arrows state the up and down of DNA level [10]

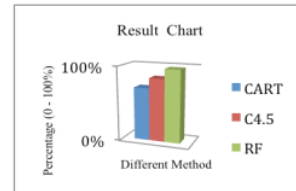
TABLE II. SEROLOGICAL, VIROLOGICAL AND BIOCHEMICAL PROFILE OF HBV [16] PARAMETER – PHASE_2, PHASE_3 ;

HBs Ag	Anti - HBs	Anti HBc (tot)	Anti HBs IgM	Hbe Ag	Anti - Hbe Ag	HBV-DNA	ALT	Class description
yes	no	yes	yes	yes	?	High	High	Accute
no	yes	yes	no	no	?	Absent	Normal	Resolved infection (seroconversion)
no	yes	no	no	no	no	Absent	Normal	Vaccination
yes	no	yes	no	yes	no	>20000	Normal	Chronic, immune tolerance phase
yes	no	yes	no	yes	?	>20000	High	Chronic, immune clearance phase
yes	no	yes	no	no	yes	<2000	Normal	Chronic, immune control phase
yes	no	yes	no	no	Yes	>2000	High	Chronic, immune escape phase
No	no	yes	no	no	?	very low	Normal	Occult
yes	no	yes	?	yes	?	>20000	High	Reactivation HBV
yes = positive		no = negative		? = yes/no				

Table 2 show an attribute parameter of serology and virology test results that we added based on the development of medical research on Hepatitis-B. From table 2, it can be seen, there are 9 classes that declare a state of development of Hepatitis-B virus. This table also obtained from the rules-2-3 phase_2 and rules on phase_3 (see figure 3a & 3b)

B. Experimental Result

155 dataset were employed for datamining process. It is applied to the process used to classify phase_1 diagnosis of Hepatitis. Datamining models employing random forest (RF) algorithm with the most significant classification result; 97.42%, followed C.45 algorithm, 84.52%, and CART algorithm, 70.97%. This classification result provided two classes, patient with Hepatitis or not.



MODE	CART	C4.5	RF
Performances (%)	70.97	84.52	97.42
Time reduce (s)	0.89	0.24	0.22

Fig. 4. Chart of classification result

VI. CONCLUSION

In this paper, we observed and investigated the parameters that are used to diagnose Hepatitis by 19 attributes with a more in-depth medical approach, where 14 is the initial attribute parameter symptomatic, 3 next attribute is used as a liver function test, and 2 last attribute is used as a synthetic function test. Five last attribute is the most decisive parameter obtained from biochemical examination. To determine the type of viral Hepatitis other parameters required by inspecting the serology and virology. There are eight attributes that are gained for Hepatitis-B diagnosis, such as HBsAg, Anti-HBs, Anti-HBc total, anti-HBcIgM, HBeAg, anti-HBeAg, HBV / DNA, ALT. Hepatitis-B levels being suffered by the patient can be obtained by using the method of logical inference, whether it is acute or chronic. From the results shown by figure 4, it can be shown that the use of the method Random Forest (RF) resulted in the most significant classification value; 97.42%, followed by C.45; 84.52%, and CART; 70.97%.

REFERENCES

- [1] Uttreshwar S Ghumbre, Ghatol A.A, Hepatitis B Diagnosis Using Logical Inference And Generalized Regression Neural Networks, *IEEE International Advance Computing Conference-IACC*, 2009.
- [2] Panchal D, Shah S, An Expert System For Hepatitis B Diagnosis Using Artificial Neural Networks – *International Conference & Workshop on Recent Trends in Technology-TCET*, published in *International Journal of Computer Applications-IJCA*, 2012.
- [3] Sartakhi SJ et.al, 2011. Hepatitis disease diagnosis using a novel hybrid method based on support vector machine and simulated annealing.
- [4] Uttreshwar S Ghumbre, Ghatol A.A, 2008. Hepatitis B Diagnosis Using Logical Inference and Self-Organizing Map, *Journal of Computer Science* : 1042-1050, ISSN 1536-636.
- [5] Afif H Mohammed, Hedar Abdel-Rahman et.al, 2013. SS-SVM(3SVM): A New Classification Method for Hepatitis Disease Diagnosis, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol.4 No.2.
- [6] Jilani A, Tahseen, Yasin Huda, Yasin M Madiha, 2011. "PCA-ANN for Classification of Hepatitis-C Patients", *International Journal of Computer Applications*(0975-8887) Vol 14-No.7.
- [7] Gong Gail and Efron Bradley, 1983. "A Leisurely look at the bootstrap, the jackknife, and cross-validation", *The American Statistician*.
- [8] Hepatitis Dataset, 2003. from <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/Hepatitis/>.
- [9] Hepatitis Dataset, 2012. Machine Learning database from <http://dmlab8.csie.ntust.edu.tw/datasets/Hepatitis/>.
- [10] Pungpapong Surakit, Kim R.W, Poterucha J Jhon, Natural History of Hepatitis B Virus Infection : An Update for Clinicians
- [11] Anonymous, 2008. Hepatitis B Virus (Acute, Chronic and Perinatal) Investigation Guideline, Kansas Disease Investigation Guidelines
- [12] Lee M William, 1997. Medical Progress Hepatitis B Virus Infection, *New England Journal of Medicine* Vol.337
- [13] WHO., Global policy report on the prevention and control of viral Hepatitis. 2013.
- [14] Mirano Ed, Sorting out the diagnostics, Porter Adventist Hospital Liver Transplant Services Denver.
- [15] Calvin M Heather et.al, Hepatitis and liver cancer – A national strategy for prevention and Control of Hepatitis B and C, Institute of Medicine of the National Academies Press. www.nap.edu, 2005.
- [16] Mark Danta, Chap 3: BPositive-all you wanted to know about Hepatitis B : Hepatitis B Virus Testing and Interpreting Test Results, St Vincent's Clinical School, The University of New South Wales, Darlinghurst, NSW
- [17] Rudiger W.Brause., "Medical Analysis and Diagnosis By Neural Network", *Proceedings of Medical Data Analysis*, Springer-Verlag, vol.20, pp.1-13, 2001.
- [18] Gerard Wolff, J., "Medical diagnosis as pattern recognition in framework of information compression by multiple alignment, unification and search", *Decision Support Systems*, Vol.42, Issue 2, pp.608-625, 2006.
- [19] Steimann, F., Adlassnig, K.P., "Fuzzy medical diagnosis" in E. Rupini, P. Bonissone, W. Pedrycz: *Handbook of Fuzzy Computation* (Oxford University Press and Institute of Physics Publishing), Bristol, 1998.
- [20] Witten H. Ian, et.al., *Data Mining: Practical Machine learning tools and techniques*, Elsevier, 2010.
- [21] WEKA tools, <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/>, 2013.
- [22] I. Parvathi., Rautaray Siddharth., Survey on Data Mining Techniques for the Diagnosis of Diseases in Medical Domain., (IJCSIT) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 5 (1), 82-96, 2014.
- [23] Timofeev Roman., Hardle Wolfgang., *Classification and Regression Trees(CART) Theory and Applications*, master thesis on CASE - Center of Applied Statistics and Economics- Humboldt University of Berlin, 2004
- [24] Anonymous., <http://pic.dhe.ibm.com/infocenter/spssstat...>, (access time 2014)
- [25] Adhatrio Kalpesh., et.al., Prediction students performance using id3 and c4.5 classification algorithms, *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process (IJDKP)* Vol.3, No.5, September 2013
- [26] Afif H Mohammed et al., "SS-SVM (3SVM) : A New Classification Method for Hepatitis Disease Diagnosis", (IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol.4, No. 2, 2013
- [27] Thampi V. Bijoy et.al., "Novel application of Random Forest method in CERES scene type classification", CERES Science Team Meeting, scripps institution of Oceanography, San Diego

Aplikasi Fraktal menggunakan *Iterated Function Systems* pada Perangkat Bergerak

Yonathan Ferry Hendrawan
Program Studi Teknik Informatika
Universitas Trunojoyo Madura
Bangkalan, Indonesia
yo@if.trunojoyo.ac.id

Abstract— Fraktal adalah himpunan matematika yang tampilannya menunjukkan kemiripan pola dengan bagian dari dirinya sendiri. Salah satu metode pembuatan gambar fraktal adalah *Iterated Function System* (IFS). IFS dideskripsikan dengan menggunakan himpunan transformasi *affine* berulang-ulang terhadap sekumpulan titik-titik geometri. Pada penelitian ini dibangun aplikasi fraktal menggunakan IFS pada perangkat bergerak dengan sistem operasi Android. Titik-titik poin yang ditransformasi dapat ditampilkan dengan baik dan dalam waktu relatif singkat.

Keywords—fraktal; *iterated functions systems*; transformasi *affine*; perangkat bergerak; android.

I. PENDAHULUAN

Fraktal adalah himpunan matematika yang umumnya tampilannya menunjukkan kemiripan pola dengan bagian dari dirinya sendiri[1]. Meskipun konsep fraktal telah ada sejak abad 17, istilah fraktal digunakan pertama kali oleh Benoît Mandelbrot di tahun 1975 [2]. Kata fraktal diambil dari kata latin *fractus* yang berarti retak/patah.

Pembelajaran tentang fraktal saat ini biasanya dilakukan dengan menggunakan bantuan komputer[3]. Hal ini karena kemampuan komputer yang sangat baik dalam melakukan perulangan adalah hal yang dibutuhkan oleh aplikasi fraktal. Kemiripan pola antar bagian fraktal dapat dibuat dengan lebih mudah menggunakan perulangan di komputer.

Ada banyak metode untuk membuat gambar fraktal. *Iterated Function System* (IFS), *L-system*, *Finite subdivision rules* adalah beberapa diantaranya. Masing-masing metode dapat menghasilkan gambar yang khas dan unik.

Di sisi lain, perangkat bergerak mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam dekade terakhir. Ragam aplikasi, kemampuan sistem operasi, dan daya komputasi terus bertambah[4].

Dalam penelitian ini, dibuat sebuah aplikasi pada perangkat bergerak berbasis Android yang dapat menampilkan berbagai bentuk fraktal. Metode yang digunakan adalah *Iterated Function System*.

II. METODA

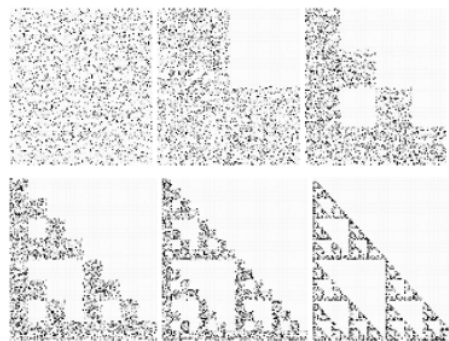
Iterated Function System (IFS) adalah salah satu metode pembuatan fraktal dimana transformasi *affine*

digunakan secara berulang-ulang pada sekumpulan titik geometri[5]. Tiap transformasi harus bersifat kontraktif: jarak antar titik haruslah berkurang[6]. Formula yang digunakan dapat dilihat pada formula 1.

$$S = \bigcup_{i=1}^N f_i(S_0) \quad (1)$$

Kumpulan titik-titik awal yang ditempatkan secara random(S_0) mengalami transformasi f_i berulang-ulang sebanyak N kali. Tiap transformasi dilakukan terhadap hasil transformasi sebelumnya, sehingga digunakan operator *Union* disini. Hasil akhirnya adalah titik-titik yang berkumpul pada area-area tertentu (S). Area-area ini disebut *attractor*.

Contoh proses IFS dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Segitiga Sierpinski yang dihasilkan dengan 0 (atas kiri), 1 (atas tengah), 2 (atas kanan), 3 (bawah kiri), 4 (bawah tengah), dan 10 (bawah kanan) iterasi menggunakan 10.000 titik.

Di kondisi awal, titik-titik menyebar rata di seluruh permukaan gambar. Lalu, di tiap iterasi, titik-titik berpindah tempat menuju ke *attractor*.

Untuk menghasilkan sebuah gambar, IFS biasanya memiliki beberapa matrik transformasi. Masing-masing matrik memiliki nilai probabilitas untuk dipilih. Tiap iterasi, secara random diambil sebuah matrik yang nantinya diterapkan/dikalikan dengan sebuah titik.

Untuk menghasilkan gambar segitiga Sierpinski di gambar 1, IFS menggunakan 3 buah matrik pada gambar 2.

$$\begin{bmatrix} 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.5 & 0.0 & 0.5 \\ 0.0 & 0.5 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

Gambar 2. Matrik yang digunakan untuk menghasilkan segitiga Sierpinski pada gambar 1.

Masing-masing matrik diatas memiliki nilai kemungkinan sepertiga untuk dapat terpilih di tiap iterasi IFS.

Bentuk sederhana algoritma IFS dapat dilihat pada gambar 3.

```

For sejumlah titik-titik random (x0, y0)
  For i = 1 to N
    Ambil      secara      random      matrik
    transformasi
    (xk+1, yk+1) = fi (xk, yk)
  Tampilkan titik (x, y)

```

Gambar 3. Algoritma IFS

III. APLIKASI PADA PERANGKAT BERGERAK

Untuk menampilkan gambar fraktal hasil IFS, aplikasi menggunakan Android canvas. Karena gambar yang ditampilkan hanya berupa titik-titik, aplikasi tidak menggunakan OpenGL yang memiliki kemampuan untuk mempercepat proses penampilan gambar.

Disediakan waktu delay 0,2 detik untuk tiap 100 titik yang sudah final transformasinya. Hal ini dimaksudkan agar animasi proses IFS dapat terlihat dengan jelas muncul satu-persatu seperti pada gambar 1.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat 4 jenis gambar fraktal yang dapat dibuat oleh aplikasi ini: segitiga sierpinski, naga, silang, dan tumbuhan paku (*fern*). Naga, silang, dan tumbuhan paku akan dibahas disini; sedangkan segitiga sierpinski penjelasannya mengikuti keterangan di atas.

A. Naga

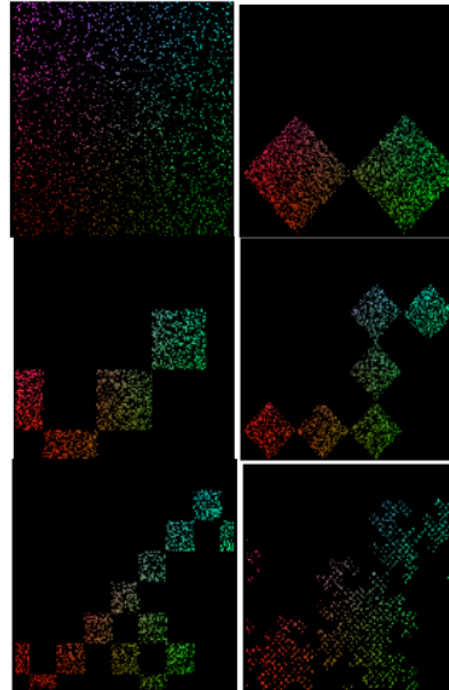
Naga memiliki 2 buah transformasi yang masing-masingnya memiliki 0,5 kemungkinan untuk terpilih secara random. Matrik-matrik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.

$$\begin{bmatrix} 0.500124 & 0.499725 & -0.250062 \\ -0.499725 & 0.500124 & 0.249863 \\ 0.000000 & 0.000000 & 1.000000 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -0.499327 & 0.500521 & 0.749664 \\ -0.500521 & -0.499327 & 0.750261 \\ 0.000000 & 0.000000 & 1.000000 \end{bmatrix}$$

Gambar 4. Matrik yang digunakan untuk menghasilkan fraktal naga

Hasil tampilan fraktal naga dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan naga pada iterasi 0, 1, 2, 3, 4, 11

B. Silang

Silang memiliki 5 buah matrik transformasi yang masing-masingnya memiliki 0,2 kemungkinan untuk terpilih secara random. Matrik-matrik tersebut dapat dilihat pada gambar 6.

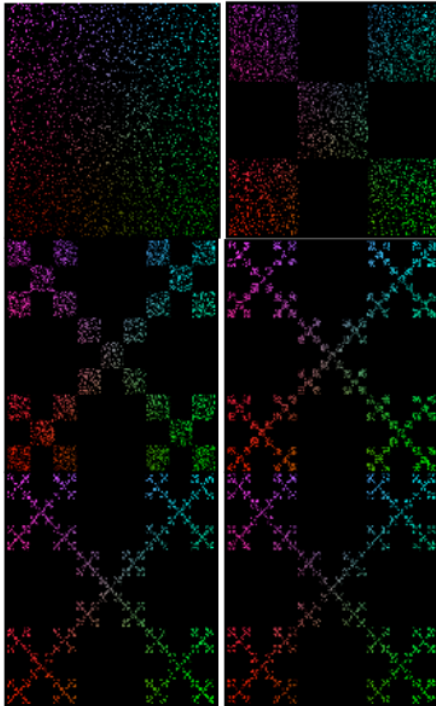
$$\begin{bmatrix} 0.33 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.33 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.33 & 0.00 & 0.66 \\ 0.00 & 0.33 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.33 & 0.00 & 0.33 \\ 0.00 & 0.33 & 0.33 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.33 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.33 & 0.66 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

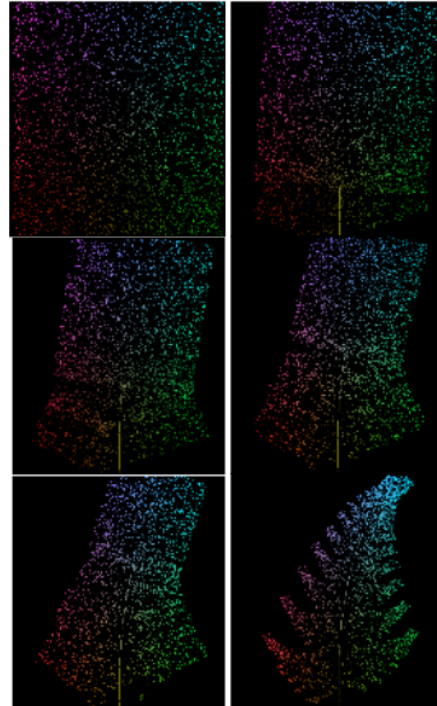
$$\begin{bmatrix} 0.33 & 0.00 & 0.66 \\ 0.00 & 0.33 & 0.66 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Gambar 6. Matrik yang digunakan untuk menghasilkan fraktal silang

Hasil tampilan fraktal naga dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan silang pada iterasi 0, 1, 2, 3, 4, 11



Gambar 9. Tampilan tumbuhan paku pada iterasi 0, 1, 2, 3, 4, 11

C. Tumbuhan Paku (fern)

Tumbuhan Paku memiliki 4 buah matrik transformasi yang masing-masingnya memiliki 0,02; 0,8; 0,09; 0,09 kemungkinan untuk terpilih secara random. Matrik-matrik tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

$$\begin{bmatrix} 0.000000 & 0.000000 & 0.500000 \\ 0.000000 & 0.200000 & 0.000000 \\ 0.000000 & 0.000000 & 1.000000 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.817377 & 0.065530 & 0.091311 \\ -0.065530 & 0.817377 & 0.232765 \\ -0.065530 & 0.817377 & 0.232765 \end{bmatrix}$$

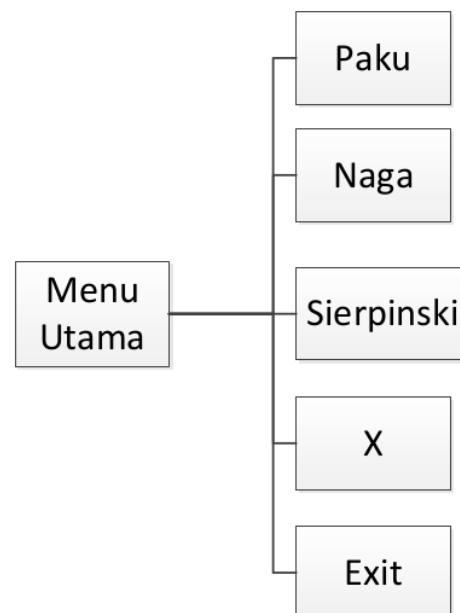
$$\begin{bmatrix} 0.108707 & -0.372816 & 0.445646 \\ 0.279612 & 0.144943 & -0.059806 \\ 0.000000 & 0.000000 & 1.000000 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -0.080250 & 0.385423 & 0.540125 \\ 0.289067 & 0.107000 & -0.004534 \\ 0.000000 & 0.000000 & 1.000000 \end{bmatrix}$$

Gambar 8. Matrik yang digunakan untuk menghasilkan fraktal tumbuhan paku

Hasil tampilan fraktal tumbuhan paku dapat dilihat pada Gambar 9.

Alur aplikasi dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Alur aplikasi

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Aplikasi dapat menampilkan berbagai jenis fraktal IFS dengan baik. Secara umum, waktu yang dibutuhkan untuk memproses dari satu iterasi ke iterasi berikutnya relatif singkat.

Aplikasi ini dapat dicoba lebih ditingkatkan performanya dengan menggunakan OpenGL.

REFERENSI

27

- [1] J. F. Gouyet, *Physics and fractal structures*, SPRINGER VERLAG GMBH, 1996.
- [2] B. B. Mandelbrot, *The fractal geometry of nature*, Henry Holt and Company, 1983.
- [3] F.S. Hill and S.M. Kelley, *Computer graphics using OpenGL*, Third ed., New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [4] M. Zechner, *Beginning Android games*, Apress, 2011.
- [5] C.A. Pickover, *Chaos and fractals: A computer graphical journey*, Elsevier, 1998.
- [6] <http://groups.csail.mit.edu/graphics/classes/6.837/F03/assignments/assignment0/assignment0.pdf>, accessed 19/12/2013

IMPLEMENTASI PEMROSESAN PARALEL PADA PERMAINAN CATUR DI CLUSTER BEOWULF

Indra Haris Syaifullah¹, Waru Djuriatno, S.T., M.T.², dan Ir. Muhammad Aswin, M.T.³

^{1, 2, 3}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail : indra.haris.s@gmail.com

Abstrak – Pemrosesan paralel merupakan salah satu upaya agar beban komputasi dapat dilakukan oleh beberapa sumber daya secara bersamaan. Salah satu masalah yang bisa dilakukan secara bersamaan adalah proses pencarian. Shannon Type-A merupakan pencarian *brute-force* yang melihat seluruh kemungkinan dengan kedalaman yang bervariasi. Dengan adanya pemrosesan paralel, pencarian *brute-force* ini dapat dilakukan secara bersamaan dan mempersingkat waktu pencarian. Perancangan perangkat lunak ini menggunakan bahasa pemrograman C dan Open MPI yang terhubung dengan *cluster* Beowulf sebagai sistem pemrosesan paralel. Pengujian dilakukan dengan membandingkan proses yang berjalan pada 1 komputer dengan 4 komputer dan dengan kedalaman yang berbeda.

Dari hasil pengujian, saat menggunakan 2 komputer *slave* dengan 2, 4, dan 6 *depth*, peningkatan kecepatannya sebesar 0,998, 3,307, dan 0,762. Saat menggunakan 4 komputer *slave* dengan 2, 4, dan 6 *depth*, peningkatan kecepatannya sebesar 1,151, 3,180, dan 0,799.

Kata Kunci – Program Catur, Pemrosesan Paralel, *Cluster* Beowulf, Shannon Type-A, Minimax.

7 I. PENDAHULUAN

Pemrosesan paralel adalah komputasi dua atau lebih tugas pada waktu bersamaan dengan tujuan untuk mempersingkat waktu penyelesaian tugas-tugas tersebut dengan cara mengoptimalkan resource pada sistem komputer yang ada untuk mencapai tujuan yang sama. Pemrosesan paralel dapat mempersingkat waktu eksekusi suatu program dengan cara membagi suatu program menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang dapat dikerjakan pada masing-masing prosesor secara bersamaan.

Tujuan utama dari pemrosesan paralel adalah untuk meningkatkan performa komputasi. Semakin banyak hal yang bisa dilakukan secara bersamaan (dalam waktu yang sama), semakin banyak pekerjaan yang bisa diselesaikan.

Dalam penelitian ini, saya mencoba untuk mengembangkan skripsi dari saudara Dian Rachmanto tentang implementasi algoritma pencarian Shannon Type-A pada program permainan catur. Dimana dalam skripsi tersebut yang awalnya dikerjakan dengan menggunakan satu komputer, dalam penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan lebih dari satu komputer yang bertujuan mempersingkat waktu

pencarian dan komputasi program permainan catur tersebut.

Untuk itu diperlukan teknologi *parallel processing* dan OpenMPI. Open MPI merupakan pustaka *message passing interface* yang bertanggung jawab mengenai penjadwalan, distribusi proses, dan komunikasi data antar *node* dalam sistem komputasi paralel. Open MPI mendukung berbagai arsitektur prosesor dan sistem operasi sehingga dapat diimplementasikan di lingkungan komputer yang heterogen.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Komputasi Paralel

Komputasi adalah proses yang dijalankan prosesor dalam sebuah rentang satuan waktu yang meliputi:

- 1) operasi baca: menerima masukan berupa data dengan ukuran tertentu,
- 2) operasi penghitungan: melakukan operasi aritmatik atau logik terhadap masukan,
- 3) operasi tulis: mengembalikan hasil penghitungan dengan ukuran tertentu.

Komputasi paralel adalah eksekusi proses pengoperasian aritmatik atau logik yang sejenis secara bersamaan.^[2]

Sebuah masalah komputasi yang kompleks dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, sederhana, dan dijalankan di beberapa prosesor secara bersamaan sehingga keseluruhan proses dapat diselesaikan dengan lebih cepat.

Pada komputasi sekuensial (serial) masukan diterima dan keluaran dikirim melalui memori internal atau perangkat antarmuka. Sementara pada komputasi paralel sebuah prosesor dapat menerima masukan atau mengembalikan keluarannya melalui *shared memory* atau prosesor lain melalui bus interkoneksi antar prosesor atau jaringan komputer.

Tujuan utama komputasi paralel adalah peningkatan kecepatan komputasi. Hukum Amdahl (Gene Amdahl, 1967) dan Gustafon (John Gustafon, 1988) menjelaskan peningkatan kecepatan komputasi paralel pada sejumlah prosesor identik.

Hukum Amdahl menjelaskan bahwa peningkatan kecepatan komputasi paralel adalah:

$$S = \frac{1}{\frac{1-a}{P} + a} \quad (2-1)$$

dengan

α = rasio bagian rutin program yang tidak dapat diparalelisasi terhadap keseluruhan rutin program

P = cacah prosesor.

Hukum Gustafon menjelaskan peningkatan kecepatan komputasi beberapa prosesor dengan persamaan yang lebih sederhana:

$$S = \alpha + P(1 - \alpha) \quad (2-2)$$

Barry Wilkinson dan Michael Allen di dalam bukunya menjelaskan bahwa fokus utama dalam merencanakan solusi menggunakan multiprosesor adalah perkiraan akan seberapa besar peningkatan kecepatan multiprosesor dalam menyelesaikan suatu problem. Perbandingan tersebut dapat dilakukan menggunakan solusi terbaik yang dapat dilakukan oleh prosesor tunggal, yakni algoritma sekuensial terbaik pada sistem prosesor tunggal dibandingkan dengan algoritma paralel pada multiprosesor yang sedang diteliti. Dengan persamaan sebagai berikut:^[4]

$$S(p) = \frac{t_s}{t_p} \quad (2-3)$$

dengan

$S(p)$ = peningkatan kecepatan jika menggunakan multiprosesor

t_s = waktu proses menggunakan sistem prosesor tunggal

t_p = waktu proses menggunakan multiprosesor

Peningkatan kecepatan komputasi paralel secara teori dibatasi kendala sekuensial bahwa sebuah rutin tidak dapat dipecah menjadi unit yang lebih kecil dan harus dijalankan secara sekuensial di satu prosesor. Sementara secara praktek peningkatan kecepatan komputasi paralel dibatasi performa perangkat keras, penjadwalan proses sistem operasi, konfigurasi lingkungan komputasi dan *overhead* rutin program karena komunikasi dan sinkronisasi antar proses.

B. Cluster Beowulf

Cluster (klaster komputer) adalah kumpulan komputer yang dapat beroperasi secara mandiri, yang disatukan dengan jaringan komunikasi data dan mendukung perangkat lunak yang memungkinkan pengaturan rutin beban komputasi secara bersamaan yang bertujuan untuk mengerjakan satu rutin komputasi yang lebih besar.

Di bidang rekayasa komputer, *clustering* diterapkan untuk membuat struktur sistem baru dari elemen-elemen komputasi yang telah ada untuk mendapatkan peningkatan kemampuan komputasi yang jika dilakukan dengan metode konvensional (mengganti perangkat keras dengan performansi yang lebih tinggi) memiliki harga ekonomis yang sangat mahal.

Cluster Beowulf adalah *cluster* komoditas yang menggunakan komponen komputer *consumer-grade* dengan harga yang murah (contoh: komponen

komputer bekas pakai), menggunakan perangkat lunak gratis dengan lisensi yang bersifat FOSS (*free open source software*) untuk membangun keseluruhan sistem, dan mengakomodasi keperluan komputasi paralel. *Cluster Beowulf* memiliki keuntungan karena struktur dan metode implementasinya, antara lain: skalabilitas, konvergensi, fleksibilitas konfigurasi, *failover*, kemudahan, kecepatan, dan harga implementasi yang murah dibandingkan sistem *cluster* konvensional.

Komputasi dengan *cluster Beowulf* melibatkan 4 hal dalam pertimbangan sistem:^[3]

1. sistem perangkat keras,
2. manajemen sumber daya komputasi,
3. pustaka pemrograman paralel,
4. algoritma paralel.

24

C. Permainan Catur

Kata catur diambil dari bahasa Sanskerta yang berarti "empat". Namun kata ini sebenarnya merupakan singkatan dari *caturangga* yang berarti empat sudut. Di India kuno permainan catur memang dimainkan oleh empat peserta yang berada di empat sudut yang berbeda. Hal ini lain dari permainan catur modern di mana pesertanya hanya dua orang saja. Kemudian kata *caturangga* ini diserap dalam bahasa Persia menjadi *shatranj*. Kata chess dalam bahasa Inggris diambil dari bahasa Persia *shah*.



149

Gambar 1. Permainan Catur

Catur ada 24 sebuah permainan yang dimainkan oleh dua orang. Sebelum bertanding, pecatur memilih biji catur yang akan ia mainkan. Terdapat dua warna yang membedakan bidak atau biji catur, yaitu hitam dan putih. Pemegang buah putih memulai langkah pertama, yang selanjutnya diikuti oleh pemegang buah hitam secara bergantian sampai permainan selesai.

➤ Ketentuan Catur

2 Permainan dilangsungkan di atas papan yang terdiri dari 8 lajur dan 8 baris kotak/petak berwarna hitam dan putih (atau terang dan gelap) secara berselang seling. Permainan dimulai dengan 16 buah pada masing-masing pihak, yang disusun berbaris

secara khusus pada masing-masing sisi papan catur secara berhadapan. Satu buah hanya bisa menempati satu petak. Pada bagian terdepan masing-masing barisan - terdapat 8 pion, diikuti di belakangnya dua benteng (*rook*), dua kuda atau ksatria (*knight*), dua gajah (*bishop*), satu menteri atau ratu atau ster (*queen*), serta satu raja (*king*).

➤ Akhir Permainan

Tujuan permainan adalah mencapai posisi skak mat (checkmate). Hal ini bisa terjadi bila Raja terancam dan tidak bisa menyelamatkan diri ke petak lain. Tidak selalu permainan berakhir dengan kekalahan, karena bisa terjadi pula peristiwa seri atau remis di mana kedua belah pihak tidak mampu lagi meneruskan pertandingan karena tidak bisa mencapai skak mat. Dalam pertandingan catur pihak yang menang biasanya mendapatkan nilai 1, yang kalah 0, sedang draw 0.5.

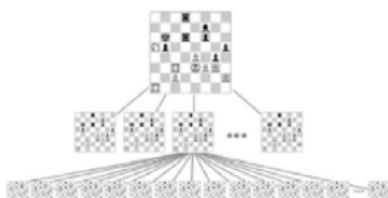
D. Algoritma Shannon

Tingkat Kompleksivitas Algoritma untuk Catur menurut Shannon adalah 10^{120} atau disebut juga sebagai *Shannon Number*. Jumlah tersebut sangatlah besar (hingga melebihi jumlah partikel di alam semesta) dan tidak mungkin dihitung menggunakan teknologi saat ini.

Pencarian adalah metode untuk melihat kedepan pada setiap gerakan dan mengevaluasi posisi setelah melakukan gerakan tersebut.

Claude Shannon mengkategorikan search menjadi dua tipe:

- **Type A** - sebuah *brute-force search* yang melihat seluruh kemungkinan dengan kedalaman yang sudah ditentukan. Strategi Type-A dikemukakan oleh Claude Shannon pada publikasinya yang sangat terkenal: *Programming a Computer for Playing Chess*, sebagai strategi *brute-force*, yang disebutkan Shannon bahwa strategi ini terlalu lambat dan lemah, dikarenakan oleh rata-rata factor percabangan dan ledakan eksponensial yang sangat besar. Karena itulah pada saat itu dia memilih strategi Type-B. Tetapi dengan penemuan algoritma alpha-beta dan seluruh ekstensinya, *brute-force* menjadi sangat sukses dari tahun 70an hingga sekarang, karena prosedur untuk mengklasifikasikan dan membuang gerakan yang “jelek” pada Type-B sangatlah sulit dan rawan dengan kesalahan.



Gambar 2. Shannon Type-A

Algoritma Type-A cukuplah sederhana, namun membutuhkan komputasi yang teramat besar (tergantung jumlah kedalaman pencarian).

- **Type B** - sebuah selektif search yang hanya melihat pada cabang yang “penting”. Type-B, seperti telah dijelaskan diatas adalah pendekatan selektif untuk mencari *minimax trees* yang hanya terdiri dari beberapa gerakan yang dianggap bagus yang berlawanan dengan strategi *brute-force* Type-A. Cara ini bekerja dengan berkonsentrasi pada pemilahan gerakan berdasarkan pengetahuan luar tentang permainan catur itu sendiri, contohnya saat pergerakan awal, orang lebih banyak memilih menggerakan pion di tengah daripada pion di tepi. Cara ini sangat tergantung pada ketrampilan bermain sang *programmer* dan kualitas dari pemilahan tersebut, sehingga hasil untuk tiap orang bisa sangat berbeda drastis.

Terinspirasi oleh eksprimen dari Adriann de Groot, Shannon dan para programmer pada masa itu lebih memilih strategi Type-B. Tipe ini menggunakan semacam heuristik statis dengan tujuan hanya untuk melihat cabang yang penting, dengan kekurangan banyak strategi-strategi yang terlewat karena jumlahnya yang sangat banyak sekali.

Type-B merupakan algoritma yang populer hingga tahun 1970, dimana Type-A memiliki processing power yang lebih besar dan algoritma brute-forcenya menjadi lebih kuat.

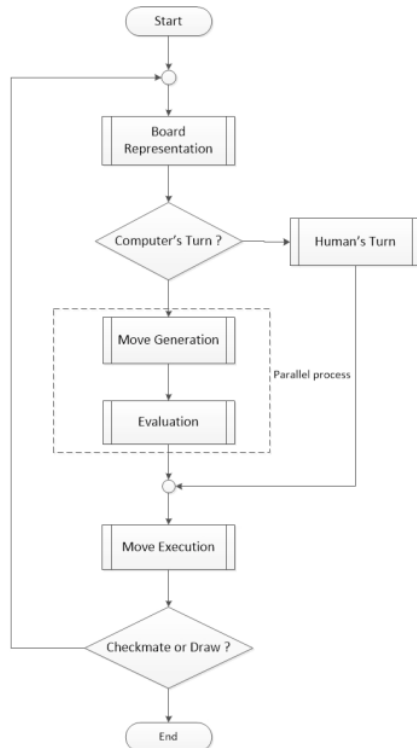
Kebanyakan program sekarang lebih dekat pada Type-A, tetapi mempunyai beberapa karakteristik Type-B (hal inilah yang membedakan banyak program-program catur yang ada sekarang).

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

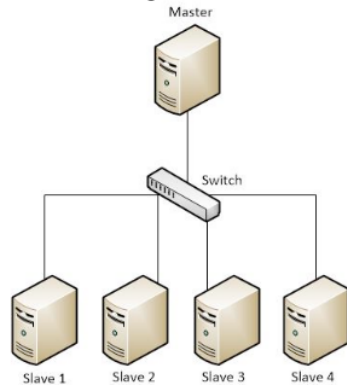
A. Spesifikasi Sistem Paralel

Perangkat yang digunakan untuk implementasi pemrosesan paralel permainan catur diuraikan sebagai berikut:

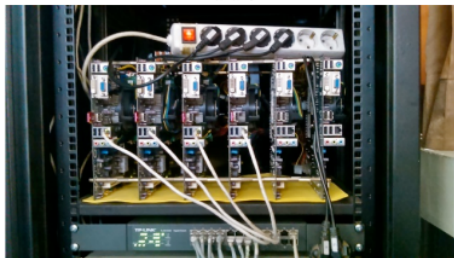
- a) Perangkat Keras:
 1. 4 unit komputer personal: Intel i3 550, DDR3 2 GB.
 2. 1 unit komputer personal: Intel Dual Core E7400, DDR2 2 GB.
 3. Switch TL-SG1024D dan perkabelan UTP Cat 5e.
- b) Perangkat Lunak:
 1. GNU/Linux Salix64 14.1: gcc 4.8.2, glibc 2.17, dan kernel Linux 3.10.17 64-bit (komputer *Front-end*).
 2. GNU/Linux Salix64 14.0: gcc 4.7.1, glibc 2.15, dan kernel Linux 3.2.29 64 bit (komputer *slave*).
 3. Open MPI 1.8.1.



Gambar 5. Abstraksi Sistem Pemrosesan Paralel pada Program Catur



Gambar 4. Gambaran Umum Sistem Pemrosesan Paralel



Gambar 6. Sistem Komputasi Paralel

Cara kerja aplikasi ini dimulai dengan masukan gerakan dari pemain manusia yang bermain sebagai putih. Pemain menggerakkan bidak dengan cara menuliskan koordinat awal dan koordinat akhir bidak putih ke petak tujuan di dalam *command prompt*. Selanjutnya gerakan tersebut akan divalidasi oleh fungsi didalam program, apakah sudah sesuai peraturan atau belum (contoh: tidak ada bidak yang bisa melompati bidak lain kecuali kuda). Setelah itu dilakukan proses pengecekan apakah ada bidak teman (*allied pieces*) di petak tujuan tadi. Setelah proses ini selesai, giliran berpindah pada Hitam (computer). Pada saat giliran berpindah pada hitam inilah sistem komputasi paralel akan menjalankan fungsi untuk menemukan seluruh gerakan yang mungkin untuk hitam pada keadaan papan saat ini (karena kondisi papan berubah setelah Putih melakukan gerakan tadi). Lalu seluruh gerakan tadi disimpan kedalam sebuah variabel board (*history_board*). Setelah seluruh gerakan yang mungkin selesai dicatat akan dilakukan proses evaluasi menggunakan algoritma Shannon Type-A untuk setiap gerakan tersebut. Setelah semua gerakan selesai dievaluasi, akan dipilih gerakan yang akan menghasilkan nilai terbaik untuk hitam (paling menguntungkan) lalu gerakan tersebut akan dieksekusi.

B. Perancangan Program Catur

➤ Board Representation

Board Representation yang digunakan pada program ini adalah Array 1 Dimensi berukuran 64. Dikarenakan jumlahnya yang sama dengan jumlah petak (*squares*) pada papan catur.

	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	0							X	1
2		9							2
3			18						3
4				27					4
5					36				5
6						45			6
7							54		7
8	Y							63	8
	A	B	C	D	E	F	G	H	

Gambar 7. Board Representation

Pada gambar diatas, Array dimulai dari pojok kiri atas, dengan berdasar pada sistem koordinat Cartesian versi pemrograman. Yaitu *index* pertama atau [0] berada pada koordinat A,1 dan *index* terakhir atau [63] berada pada koordinat H,8.

➤ Move Generation

Move Generation berlaku baik untuk Putih maupun Hitam. Proses ini bertujuan untuk memeriksa legalitas dari gerakan yang akan

dilakukan. Legalitas yang dimaksud adalah bisa atau tidaknya suatu bidak akan bergerak pada petak tujuan sesuai dengan peraturan yang berlaku pada catur.

Dalam program ini Move Generation akan dipecah menjadi satu peraturan global, dan sisanya adalah peraturan untuk setiap jenis bidak, dengan rincian:

- Peraturan Global:

- a. Gerakan tidak akan bisa dilakukan jika petak tujuan sudah ditempati oleh bidak dengan warna yang sama.
- b. Jalan menuju petak tujuan sudah ditempati oleh bidak dengan warna yang sama (*allied pieces*). Dengan pengecualian untuk Kuda yang bisa “melompat”.

Kedua hal tersebut berlaku untuk semua bidak tanpa kecuali walaupun sudah memenuhi peraturan individual untuk semua jenis bidak.

➤ Evaluation

Setiap gerakan yang mungkin harus dianalisa dan dinilai berdasarkan perubahan papan yang terjadi akibat langkah tersebut. Setelah seluruh evaluasi selesai, dipilih gerakan yang paling bagus, yaitu gerakan yang akan menghasilkan hasil evaluasi paling tinggi.

Proses Evaluasi akan dijalankan saat *turn* (giliran) berpindah ke komputer. Komputer akan mengevaluasi papan berdasarkan kondisi saat ini (yaitu setelah pemain sebelumnya selesai melakukan gerakan).

Jika salah satu raja sudah *dicapture*, maka permainan akan berakhir. Dan pemain selanjutnya (baik manusia ataupun komputer) tidak akan mendapat giliran.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

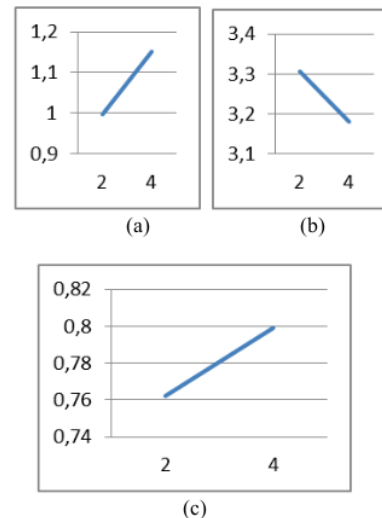
A. Pengujian waktu proses komputasi terhadap jumlah komputer *slave* yang digunakan dengan kedalaman yang bervariasi.

Depth	Jmlh Slave	Processing Time (ms)	Node0	Node1	Node2	Node3
2	1	1,050	-	-	-	-
	2	1,052	0,778	0,714	-	-
	4	0,912	0,694	0,670	0,498	0,641
4	1	2,238	-	-	-	-
	2	677	641	552	-	-
	4	703	674	703	677	674
6	1	938 s	-	-	-	-
	2	1.230 s	1.748 s	1.825 s	-	-
	4	1.174 s	1.124 s	995 s	954 s	964 s

Tabel 1. Waktu Terlama Proses Komputasi dengan Jumlah *Slave* yang Berbeda

B. Perbandingan waktu eksekusi proses komputasi tunggal dengan waktu eksekusi proses komputasi paralel.

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan waktu proses komputasi yang berjalan pada sistem komputasi tunggal dengan sistem komputasi paralel. Perbandingan waktu komputasi tersebut menghasilkan peningkatan kecepatan.



Gambar 8. Grafik Peningkatan Kecepatan Menggunakan 2 dan 4 *slave* dengan (a)2 *Depth*, (b)4 *Depth*, dan (c)6 *Depth*

9

V.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis sistem, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar tingkat kedalaman, waktu proses komputasi yang dibutuhkan juga semakin lama.
2. Dari hasil pengujian, dapat dilihat bahwa dengan semakin bertambahnya tingkat kedalaman, maka semakin tinggi pula kinerja prosesor.
3. Dari hasil pengujian, saat menggunakan 2 komputer *slave* dengan 2, 4, dan 6 *depth*, peningkatan kecepatannya sebesar 0,998, 3,307, dan 0,762. Saat menggunakan 4 komputer *slave* dengan 2, 4, dan 6 *depth*, peningkatan kecepatannya sebesar 1,151, 3,180, dan 0,799.
4. Dari hasil analisis, semakin banyak komputer *slave* yang digunakan, waktu proses komputasi yang dibutuhkan semakin pendek pada tiap *node* komputer *slave*, sehingga terjadi peningkatan kecepatan.

B. Saran

Saran untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Penyempurnaan algoritma dalam program permainan catur.
2. Pembuatan *book* untuk permainan catur.
3. Perhitungan nilai berdasarkan pada langkah demi langkah.
4. Pembuatan algoritma paralel yang lebih kompleks.
5. Penanganan sistem paralel yang lebih baik.
6. Pengembangan program catur dengan struktur yang lebih kompleks.
7. Penggunaan sumber daya komputer dengan spesifikasi yang lebih tinggi.

- [13] Skiena, Steven S. 1997. *Parallel Algorithms*, The Stony Brook Algorithm Repository, <http://www8.cs.umu.se/kurser/TDBA77/VT06/algorithms/BOOK/BOOK/NODE100.HTM>. (diakses 6 Maret 2014)
- [14] Kluster komputer, Wikipedia, http://id.wikipedia.org/wiki/Kluster_komputer. (diakses 13 Agustus 2014)

93

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shannon, Claude E. *Programming a Computer for Playing Chess*. *Philosophical Magazine*. Ser. 7 Vol. 41, No. 314 – March 1950.
- [2] Reif, John., Sangutevar Rajasekaran. 2008. *Handbook of Parallel Computing: Models, Algorithms and Applications*. New York: Chapman & Hall/CRC Press.
- [3] Sterling, Thomas. 2002. *Beowulf Cluster Computing with Linux*. Cambridge: The MIT Press.
- [4] Wilkinson, Barry, Michael Allen. 2010. *Parallel Programming Teknik & Aplikasi Menggunakan Jaringan Workstation dan Komputer Paralel*. Yogyakarta: Penerbit Andi. (Edisi Bahasa Indonesia).
- [5] Borovska, Plamenka., Milena Lazarova. 2007. *Efficiency of Parallel Minimax Algorithm for Game Tree Search*. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1330615&dl=ACM&coll=DL&CFID=421076715&CFTOKEN=23012478> (diakses 24 Desember 2013)
- [6] Rachmanto, Dian. 2013. *Implementasi Algoritma Pencarian Shannon Type-A Pada Program Permainan Catur*. Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- [7] Aliyansyah, Muhammad Zulhaj. 2013. *Komputasi Paralel Integral Definit Rangkap Tiga dengan Metode Monte Carlo di Cluster Beowulf*. Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- [8] Kerrigan, Tom. Tom Kerrigan's Home Page, <http://www.tckerrigan.com/Chess/TSCP>. (diakses 1 Mei 2014)
- [9] Lefler, Mark. Chess Programming Wiki, <https://chessprogramming.wikispaces.com>. (diakses 19 April 2014)
- [10] Hofferle, Jason. The Rules of Chess.
- [11] Chess, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Chess>. (diakses 19 April 2014)
- [12] Open MPI: Open Source High Performance Computing, <http://www.open-mpi.org>. (diakses 23 April 2014)

Penilaian Komposisi *Rule of Thirds* Berdasarkan Centroid Suatu Subject pada Citra Foto

Tomi Putro^{1,2}, Utomo¹, Adharul Muttaqin, S.T., M.T.², Ir. Muhammad Aswin, M.T.³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

e-mail : tomi.putro.utomo@gmail.com¹, adharul@gmail.com², muh_aswin@yahoo.com³

Abstrak—*Rule of thirds* adalah salah satu panduan komposisi yang paling dikenal oleh fotografer untuk menciptakan foto yang berkualitas. Komposisi ini didapatkan dengan membagi bidang gambar dalam tiga bagian yang sama besar dan proporsional baik horizontal maupun vertikal dengan menggunakan empat garis imajiner. Penilaian didasarkan pada posisi subjek terhadap titik-titik potong garis-garis tersebut. Yang menjadi tantangan adalah bagaimana penilaian kualitas tersebut dapat dilakukan dengan komputer.

Pada paper ini ditunjukkan bagaimana pemrosesan citra dapat memberikan nilai komposisi *rule of thirds* sebuah foto. Nilai komposisi dihitung berdasarkan jarak antara *centroid* (pusat massa suatu area) suatu obyek pada foto dengan salah satu titik perpotongan *rule of thirds* yang terdekat. Obyek terlebih dahulu disegmentasi dengan menggunakan metode *grabcut*. Penentuan *centroid* menggunakan metode Monte Carlo pada wilayah yang telah digunakan saat segmentasi object. Jarak dari *centroid* ke titik perpotongan dinilai dengan menghitung hipotenusanya, setelah itu hipotenusanya tersebut dibandingkan dengan hipotenusanya dari keseluruhan bidang foto yang telah dikalikan dengan toleransi.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa obyek yang berada pada salah satu titik perpotongan dan jarak centroidnya semakin dekat jarak maka nilai komposisi *rule of thirds*nya lebih tinggi tinggi, begitu pula sebaliknya. Untuk object dengan posisi tepat ditengah-tengah area foto, maka nilainya adalah 0.

Kata Kunci—Aturan Sepertiga, Centroid, Citra Fotografi, Estetika, Fotografi, Komposisi Fotografi, Integrasi Monte Carlo, Otsu Threshold, Rule of Thirds.

I. PENDAHULUAN

Rule of thirds adalah salah satu panduan komposisi yang paling dikenal oleh fotografer untuk menciptakan foto yang berkualitas [1]. Komposisi ini didapatkan dengan membagi bidang gambar dalam tiga bagian yang sama besar dan proporsional baik horizontal maupun vertikal. Maka terbentuklah garis-garis imajiner dan empat titik perpotongan garis imajiner tersebut. Menurut aturan ini, sebaiknya bagian foto yang paling menarik ditempatkan di salah satu titik tersebut [2]. Sedangkan komposisi dalam fotografi bertujuan untuk menata elemen-elemen visual yang akan dimasukkan ke dalam foto agar menjadi lebih menarik [2]. Penerapan *rule of thirds* pada sebuah foto dapat membuat foto menjadi lebih baik secara kualitas visual. Fotografer amatir biasanya lebih sering menempatkan subjek foto pada tengah-tengah bidang

foto yang dianggap membuat foto tampak statis dan membosankan. Fotografer profesional menempatkan objek foto pada sepertiga bagian bidang foto, baik di sepertiga kiri atas dan bawah maupun sepertiga kanan atas dan bawah bidang foto, penempatan seperti ini membuat foto tampak dinamis dan lebih indah dilihat [4].

Menurut Luo [7] estetika dalam fotografi berhubungan dengan empat poin yaitu, (1) komposisi, yaitu penataan elemen-elemen visual di dalam foto, (2) pencahayaan, agar dapat menghasilkan kesan tiga dimensi dan kontras yang baik pada, (3) pengendalian fokus, pemisahan subjek foto dengan latar belakangnya, (4) warna, aspek harmonisasi warna pada foto. Beberapa metode telah dikembangkan sebelumnya oleh para peneliti yang bertujuan untuk menilai dan mengklasifikasi sebuah foto [8], [9], [10], [7], [11]. Namun penelitian-penelitian tersebut menilai estetika pada citra fotografi dari berbagai parameter, dan tidak berfokus hanya kepada panduan komposisi *rule of thirds* saja. Selain itu algoritma perbaikan komposisi foto sebelumnya juga telah dikembangkan oleh Liu [12] dan perangkat lunak seperti *Adobe Photoshop* dengan cara memotong foto agar sesuai dengan komposisi *rule of thirds*. Sedangkan mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Mai [1] dan Maleš [3], yang berfokus pada pendeteksian panduan komposisi *rule of thirds* pada citra fotografi, maka dapat disimpulkan bahwa panduan komposisi, terutama *rule of thirds*, adalah salah satu hal yang penting dalam menentukan kualitas estetika sebuah foto.

II. TINJAUAN PUSTAKA

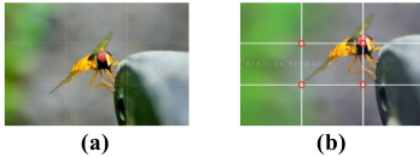
A. Komposisi Fotografi

Komposisi fotografi adalah penataan elemen-elemen visual dengan sedemikian rupa sehingga foto tidak hanya menjadi lebih menarik tetapi juga mampu mengungkapkan maksud fotografer dengan jelas. Apa yang dikomunikasikan, tergantung dari apa yang dipilih untuk dimasukkan dalam foto dan bagaimana cara menyusunnya [2]. Salah satu panduan komposisi yang akan dibahas adalah panduan komposisi *rule of thirds*.

B. Komposisi Rule of Thirds

Rule of thirds—atau dalam Bahasa Indonesia dapat diartikan sebagai aturan sepertiga merupakan rumus komposisi yang paling populer. Komposisi ini didapatkan dengan membagi bidang gambar dalam tiga

bagian yang sama besar dan proporsional baik horizontal maupun vertikal. Dengan pembagian tersebut, terbentuklah garis-garis imajiner dan empat titik perpotongan garis imajiner tersebut. Menurut panduan ini, sebaiknya bagian foto yang paling menarik ditempatkan di salah satu titik tersebut. Titik yang sebelah mana tergantung dengan konteks, selera, dan apa yang ingin ditonjolkan. Aturan ini berlaku untuk sebagian besar jenis fotografi, dari pemandangan, *portrait*, *still life*, foto jurnalisme, dan lain-lain [2].



Gambar 17. Komposisi yang tidak sesuai dengan rule of thirds (a) dan komposisi yang sesuai dengan rule of thirds (b).

Sumber: adiedigitalizing.blogspot.com/2012/11/rule-of-thirds-komposisi-dasar-dalam.html (2012).

Foto pada Gambar 17, peletakan subjek serangga tidak sesuai dengan prinsip *rule of thirds* karena subjek utama yang menjadi pusat perhatian tepat berada di tengah-tengah foto dan tidak ada satu pun bagian subjek yang berada di salah satu atau lebih titik perpotongan antara dua garis. Berbeda dengan posisi subjek pada Gambar 17 (b), yang memposisikan serangga di salah satu titik perpotongan yang berada pada sebelah kanan atas gambar. Salah satu titik perpotongan berada tepat pada kepala serangga tersebut dan ini berarti sesuai dengan prinsip *rule of thirds*.

Menurut Peterson [13] fotografer dan seniman menggunakan *rule of thirds* saat menciptakan karyanya karena suatu teori yang telah terbukti. Yaitu, jika subjek yang menjadi pusat perhatian berada di tengah bidang foto maka subjek akan dianggap statis. Mata langsung diarahkan ke subjek dan tidak akan mengarah ke mana-mana lagi karena jarak subjek ke semua sisi foto sama. Untuk itu subjek ditempatkan mendekati salah satu tepi foto, hal ini akan memaksa mata mengikuti dan mencari subjek foto. Dengan cara seperti ini foto menjadi lebih menarik karena terkesan interaktif. Seperti sebuah percakapan yang terjadi antara yang melihat dan foto tersebut.



Gambar 18. Foto kayaker tanpa garis bantu rule of thirds (a) dan foto kayaker dengan garis bantu rule of thirds (b).

Sumber: www.digital-photo-secrets.com/tip/2742/why-does-the-rule-of-thirds-work/ (2012).

Foto kayaker pada Gambar 18, adalah salah satu contohnya, subjek diposisikan di sepertiga bagian kanan gambar yang membuat mata pengamat secara alamiah akan mengikuti condongnya ke air dan merasa

seperti sedang berada di dalam suasana tersebut. Jika diposisikan di tengah-tengah gambar, padangan mata tidak akan melirik ke mana-mana lagi dan “menabrak” tepi sebelah kiri gambar. Dengan posisi kayaker yang berada di kanan gambar, pengamat masih memiliki ruang untuk pergerakan mata.

C. Centroid

Centroid berasal dua kata, yaitu dari bahasa Latin *centrum* yang berarti *center* dalam bahasa Inggris dan *oid* yang berarti *like* [14]. Suatu titik di mana seluruh berat atau massa pada sebuah bangun terkonsentrasi diketahui sebagai pusat gravitasi dari bangun tersebut. Pusat gravitasi secara umum dilambangkan dengan “G”.

Centroid adalah istilah lain yang berhubungan dengan pusat gravitasi. *Centroid* dari sebuah bangun geometri seperti persegi panjang, segi tiga, trapesium, lingkaran, dan lain-lain, kata *centroid* digunakan saat hanya ada bangun geometri daripada berat atau massa. Oleh karena itu, pusat gravitasi bangun geometri dapat diistilahkan sebagai *centroid* atau pusat dari area tersebut. [15]

D. Metode Monte Carlo

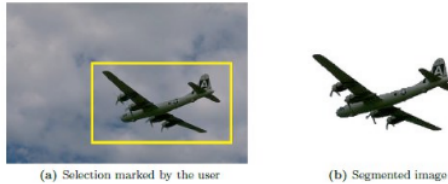
Metode Monte Carlo adalah salah satu algoritma komputasi yang mengandalkan sampel acak yang berulang untuk mendapatkan hasil numerik; biasanya menggunakan sampel acak yang dibangkitkan dari pembangkit bilangan acak semu, sebuah simulasi dapat berjalan berkali-kali untuk mendapatkan distribusi entitas probabilistik yang tidak diketahui. Nama metode ini berasal dari kemiripan teknik yang digunakan untuk bermain dan mengingat hasil dalam perjudian kasino. Metode Monte Carlo sering digunakan dalam dunia fisika dan matematika, serta sangat berguna saat sulit atau tidak memungkinkan untuk mendapatkan ekspresi bentuk tertutup, atau tidak dapat menerapkan algoritma deterministik. Metode Monte Carlo terutama digunakan dalam tiga masalah yang berbeda yaitu: optimasi, integrasi numerik, dan pembangkitan seri dari distribusi probabilitas. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi nilai integral tentu, biasanya integral multidimensi [16].

E. Grabcut

Grabcut adalah salah satu metode segmentasi citra. Metode ini dapat mensegmentasi objek citra atau latar belakang secara interaktif. Biasanya, proses segmentasi citra menggunakan informasi tekstur yang berhubungan dengan warna seperti Magic Wand, atau informasi tepi citra yang berhubungan dengan kontras seperti Intelligent Scissors. Metode grabcut berdasar pada metode lainnya yaitu graph-cut. Graph-cut dapat mengombinasikan kedua informasi yang dapat digunakan untuk segmentasi citra yaitu tekstur dan dan tepi. Sedangkan grabcut sendiri adalah pengembangan dari graph-cut, tetapi dengan optimasi yang lebih baik, penggunaan algoritma yang teriterasi, dan dapat secara simultan memperkirakan hal lain di sekitar batas objek serta warna dari objek.

Grabcut digunakan untuk mengekstraksi objek dari sebuah citra yang memiliki latar belakang yang kompleks di mana latar belakang tersebut tidak dapat dengan mudah dihilangkan. Cara kerja grabcut adalah

dengan menganggap semua yang berada di luar objek yang telah ditandai dengan sebuah bangun persegi panjang adalah latar belakang, kemudian objek yang telah ditentukan dipisahkan dari latar belakang dengan cara memisahkan area di luar objek yang telah ditentukan. [17]



Gambar 19. Contoh hasil grabcut

Sumber:
http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S071750002013000200004&script=sci_arttext (2014).

F. Metode Otsu

Metode Otsu merupakan metode yang digunakan untuk menghitung nilai ambang (T) secara otomatis berdasarkan citra masukan. Tujuan dari metode otsu adalah membagi histogram citra gray level ke dalam dua daerah yang berbeda secara otomatis tanpa membutuhkan bantuan user untuk memasukkan nilai ambang. Pendekatan yang dilakukan oleh metode otsu adalah dengan melakukan analisis diskriminan yaitu menentukan suatu variabel yang dapat membedakan antara dua atau lebih kelompok yang muncul secara alami. Analisis Diskriminan akan memaksimalkan variabel tersebut agar dapat membagi objek dengan latar belakang [18].



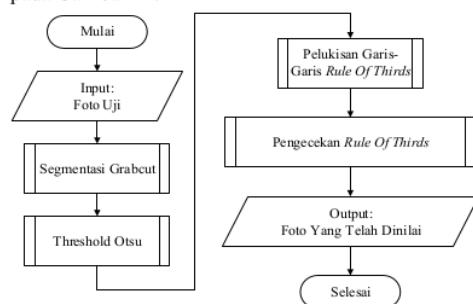
Gambar 20. Citra hasil metode otsu

Sumber : <http://4.bp.blogspot.com>.

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Blok Diagram Sistem

Pada sistem ini terdapat beberapa langkah yang dapat dimodelkan menjadi blok diagram seperti pada Gambar 21.



Gambar 21. Diagram alir sistem

Fungsi masing-masing bagian dari blok diagram sistem pada Gambar 21 dijelaskan sebagai berikut:

1. Citra RGB sebagai input sistem;
2. Objek pada foto disegmentasi dengan metode grabcut sehingga menghasilkan foto yang objeknya terpisah dari latar belakangnya;
3. Dilakukan operasi pengambangan pada foto yang sudah terpisah objeknya dengan metode Otsu;
4. Melukis garis-garis rule of thirds di atas bidang foto. Kemudian menentukan centroid objek foto yang telah diambangkan dengan menggunakan metode Monte Carlo;
5. Mengukur jarak dari centroid ke salah satu titik perpotongan yang terdekat lalu membandingkannya dengan toleransi dan rentang nilai yang telah ditentukan pada Tabel 1;

B. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak akan dibangun dengan bahasa pemrograman C++, pustaka OpenCV, dan menggunakan IDE Qt Creator 5.3. Perangkat lunak ini dirancang dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Menerima foto RGB sebagai input sistem.
2. Mengekstraksi objek dengan metode grabcut lalu di-threshold dengan metode otsu.
3. Menentukan centroid objek yang diekstraksi dengan integrasi Monte Carlo.
4. Menghitung hipotenusa dari keseluruhan citra.
5. Mengukur jarak dari centroid objek ke empat titik perpotongan rule of thirds dengan menghitung hipotenusanya lalu dicari yang terdekat.
6. Membandingkan jarak dari centroid ke titik perpotongan terdekat dengan toleransi jarak yang telah ditentukan. Toleransi jarak antara centroid objek dan titik-titik perpotongan rule of thirds proporsional terhadap dimensi (lebar dan tinggi) citra.
7. Formula untuk mengukur jarak centroid ke perpotongan adalah :

$$dist = \sqrt{(C_x - I_{x1})^2 + (C_y - I_{y1})^2}$$

di mana (Cx, Cy) adalah koordinat centroid objek foto sedangkan (I_{x1}, I_{y1}) adalah perpotongan garis ke-i, dengan i = 1,2,3,4. Sedangkan formula untuk mengukur hipotenusa keseluruhan bidang foto adalah $hyp = \sqrt{(I_w)^2 + (I_h)^2}$ di mana (I_w, I_h) adalah lebar dan tinggi bidang foto. Untuk pengecekan rule of thirds dan penilaian digunakan formula $if (dist < tolerance * hyp)$ di mana tolerance adalah rentang toleransi pada Tabel 1.

8. Menilai sesuai dengan rentang toleransi yang telah ditentukan pada Tabel 1.

TABLE XII. TOLERANSI DAN SKOR YANG DIDEFINISIKAN PADA PROGRAM

Toleransi	Skor
0,001	100
0,008	95
0,020	90
0,030	85
0,045	80
0,060	75
0,090	60
0,100	50
> 0,100	0

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada dua kelompok foto yaitu foto yang memiliki subjek yang terletak pada daerah *rule of third* dan foto yang subjeknya terletak di tengah-tengah. Seleksi posisi subjek dilakukan secara manual. Seperti pada gambar pertama pada tabel II, penentuan area grabcut dilakukan dengan mendefinisikan suatu area segi empat yang melingkupi gambar manusia.

TABLE XIII. HASIL PENGUJIAN YANG MENGHASILKAN NILAI TINGGI.


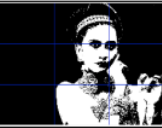



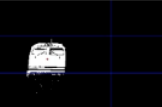

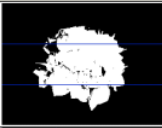




Citra Masukan	Citra GrabCut	Rule of Thirds	Skor
		Ya	85
		Ya	60
		Ya	60

Foto yang terdapat pada tabel II mewakili contoh foto yang menghasilkan skor tinggi, yaitu foto yang menempatkan subjek pada area *rule of third*. Skor yang ditunjukkan pada tabel tersebut adalah lebih dari atau sama dengan 60. Kesamaan dari foto tersebut adalah masing-masing menempatkan subjeknya agak ke pinggir.

Sebaliknya, pada tabel III ditunjukkan foto yang subjeknya berada pada tengah-tengah area. Dengan letak centroid dari subjek yang dinilai jauh dari titik potong acuan *rule of third*, maka skor yang dihasilkan adalah sangat rendah yaitu 0.

TABLE XIV. HASIL PENGUJIAN YANG MENGHASILKAN NILAI RENDAH.

Citra Masukan	Citra GrabCut	Rule of Thirds	Skor
		Tidak	0
		Tidak	0
		Tidak	0

Dari hasil pengujian, dapat dikatakan bahwa perangkat lunak yang dibuat berhasil menilai citra masukan sesuai dengan panduan *rule of thirds*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian dan analisis sistem maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Posisi objek dalam foto sangat berpengaruh pada hasil penilaian.
2. Jarak dari centroid ke salah satu perpotongan berpengaruh pada nilai yang diberikan.
3. Jika centroid objek berada jauh dari salah satu titik perpotongan tetapi ada bagian objek yang berada di salah satu titik perpotongan, maka nilai yang ditampilkan adalah 0 (nol) karena jarak centroid jauh dari titik perpotongan.
4. Semakin dekat centroid objek dengan salah satu titik perpotongan semakin besar nilai yang ditampilkan.
5. Jika terdapat lebih dari satu objek dalam foto, maka hanya satu objek yang dapat dinilai dikarenakan keterbatasan segmentasi grabcut.
6. Posisi centroid sangat bergantung pada hasil segmentasi grabcut, jika segmentasi tidak bekerja optimal, maka objek akan menjadi lebih besar dari seharusnya karena area sekitar objek juga ikut tersegmentasi. Jika kontras objek kurang juga akan mengakibatkan segmentasi tidak optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Mai, H. Le, Y. Niu dan F. Liu, "Rule of Thirds Detection from Photograph," dalam *Multimedia (ISM), 2011 IEEE International Symposium on*, Dana Point, 2011.
- [2] E. Tjin, *Kamera DSLR Itu Mudah!*, Jakarta: Bukuné, 2011, p. 111.

- [3] M. Maleš, A. Hedić dan M. Grgić, "Compositional rule of thirds detection," dalam *109 MAR, 2012 Proceedings*, Zadar, 2012.
- [4] J. Waterhouse, "Photography Rule of Thirds," 2011. [Online]. Available: <http://www.ultimate-photo-tips.com/photography-rule-of-thirds.html>. [Diakses 31 Maret 2014].
- [5] H. Hilde, "Visual aesthetics and the user experience," dalam *Dagstuhl Seminar Proceedings The Study of Visual Aesthetics in Human-Computer Interaction*, Dagstuhl, 2008.
- [6] J.-S. R. Jung, C.-T. Sun dan E. Mizutani, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence," Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.
- [7] Y. Luo dan X. Tang, "Photo and Video Quality evaluation: Focusing on the Subject," dalam *Computer Vision - ECCV 2008 10th European Conference on Computer Vision*, Marseille, 2008.
- [8] H. Tong, M. Li, H.-J. Zhang, J. He dan C. Zhang, "Classification of Digital Photos T 36 by Photographers or Home Users," dalam *Advances in Multimedia Information Processing - PCM 2004 5th Pacific Rim Conference on Multimedia*, Tokyo, 2004.
- [9] R. Datta, D. Joshi, J. Li dan J. Z. Wang, "Studying Aesthetics in Photographic images Using a Computational Approach," dalam *Computer Vision - ECCV 2006 9th European Conference on Computer Vision*, Graz, 2006.
- [10] Y. Ke, X. Tang dan F. Jing, "The Design of High-Level Features for Photo Quality Assessment," dalam *Computer Vision and Pattern Recognition, 2006 IEEE Computer Society Conference on*, New York City, 2006.
- [11] A. Kumianto, S. Sumpeno dan M. Hariadi, "Klasifikasi Citra Berdasarkan Parameter Estetika Menggunakan Metode ANFIS," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2010.
- [12] L. Liu, R. Chen, L. Wolf dan D. Cohen-Or, "Optimizing Photo Composition," *Computer Graphics Forum*, vol. 29, no. 2, pp. 469-478, 2010.
- [13] D. Peterson, "Why Does the 58 Rule of Thirds Work?," 2012. [Online]. Available: <http://www.digital-photo-secrets.com/tip/2742/why-does-the-rule-of-thirds-work/>. [Diakses 05 Januari 2014].
- [14] J. Page, "Centroid of Triangle," 2009. [Online]. Available: <http://www.mathopenref.com/trianglecentroid.html>. [Diakses 24 Desember 2013].
- [15] J. Afsar, "Center of Gravity (Centroid)," 2013. [Online]. Available: <http://www.engineeringintro.com/2013/01/center-of-gravity/>. [Diakses 26 Desember 2013].
- [16] A. Nakano, "Monte Carlo Basics," 2013. [Online]. Available: cacs.usc.edu/education/phys516/01-1mcbasics.pdf. [Diakses 06 Agustus 2014].
- [17] C. Rother, V. Kolmogorov dan A. Blake, "Grabcut: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts," *ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2004*, vol. 23, no. 3, pp. 309-314, 2004.
- [18] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.

Predator Movement Using D Lite Based Pathfinding Algorithm For Dynamic Preys

Moch. Kholil
Faculty of Industrial Technology
Institute Technology Of Sepuluh
Nopember
Surabaya, Indonesia
moch.kholil13@mhs.ee.its.ac.id

Moch. Hariadi
Faculty of Industrial Technology
Institute Technology Of Sepuluh
Nopember
Surabaya, Indonesia
mochar@ee.its.ac.id

Supeno Mardi Susiki Nugroho
Faculty of Industrial Technology
Institute Technology Of Sepuluh
Nopember
Surabaya, Indonesia
smardi88@gmail.com

Abstract - The movement of agents in the Real Time Strategy game influenced by several factors, one of which is the technique of agent movement within the game environment. Pathfinding in a video game is an artificial intelligence algorithm how to find an agent moves the optimal way in which there are obstacles in the environment. This can be achieved by implementing a pathfinding algorithm to the game. This study of the D * Lite algorithm is able to plan a search path in an unknown environment, is known, and change the environment to be efficient, optimal and complete for agents and will describe some way of planning applications and provides a solid foundation for further research on methods of search re in artificial intelligence.

Keywords - Agen Movement, Real Time Strategy, Pathfinding, D Lite

I. INTRODUCTION

Increasingly complex computer game with realistic graphics and presents the NPC (Non-Player Character) are sophisticated. In addition to the development of the graphical aspects of the game, the game developers to focus on aspects of the development of artificial intelligence to make the NPC look sophisticated. The movement of agents is one of the important elements of artificial intelligence in computer games. Pathfinding strategy in an important part in the movement of the agent.

Pathfinding has now become an important element in the world games. Where all the games definitely have a different method of pathfinding. In accordance with the level of complexity of the games are carried. The more intricate map of a game, the more complicated pathfinding methods are also used. On Real Time Strategy games like Dota and Clash of Clans pathfinding method is a method that automatically run each time the player move. Players are very simplified, because he does not need to regulate the movement of the character. Players only need to specify the end point or final destination will be. While the starting point is obtained from the current position of the player character.

In this research, an agent acts as a predator hunting prey. Given that the agent produced an intelligent agent, then the pathfinding algorithm will be applied in search of prey. In this case, the method used is pathfinding algorithm D Lite is able to plan a search path in an unknown environment, is known, and change the environment to be efficient, optimal and complete.

II. FUNDAMENTALS

A. Game Agent Architecture

The AI agent paradigm presented in is critical to the description of the high level AI architecture of these NPCs. In accordance with the agent paradigm, NPC are named "game agents" or simply "agents". An agent is defined as "anything that can be viewed as perceiving its environment through sensors and acting upon the environment through its actuators". A generalized game AI agent architecture has three main components: the agent's inputs (or sensors), the agent-function and the agent's actuators. Figure 1. Illustrates the generalized game agent architecture.

The sensors (commonly referred to as an agent's perception system) act to inform the agent about the state of its environment (the game state). Game agent sensors are not actual sensors but are simple functions that simulate the various agent senses needed to react to the environment. Since perfect information regarding the environment is available, agent sensors are specialized with regards to the information required by the agent function. For example, if an agent's vision sensor is only used for target selection then that vision sensor will simply return a list of the nearby enemies to which the agent has a line of sight.

The agent function can then determine the best target from the sensor data. An agent's sensor data represents the current game state and is used by the agent to make decision as to the agent's future actions. The decisions are made by the agent function

Just like humans, game agents need to react differently to the same situation based on their behavioral or "emotional" state. All agent decisions and future actions are determined based on the agent's current state as well as the current game state. The decision making process is contained within the agent function which has two major roles.

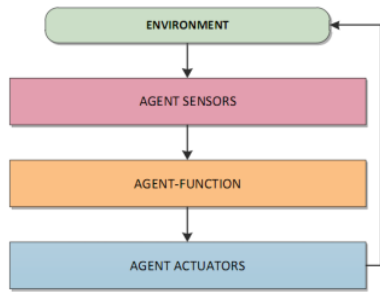


Figure 1. The General AI agent architecture
Source: Angelov, 2011: 23

B. The Pathfinding Search Problem

The most basic requirement of a game agent AI is a mechanism to allow the game agent to successfully navigate the game environment. Any agent that cannot successfully navigate its environment would appear quite incompetent, irrespective of how many quality high level behaviors are present.

C. Dijkstra's Algorithm

Dijkstra's algorithm was represented in Edsger Dijkstra in 1959 as a method to find the shortest routes from a start node to all other nodes in weighted graph [1]. In Such a graph, each edge weight represent the traversal cost incurred moving across that edge.

The basic operation of the algorithm is as follows: The algorithm explores every node in the graph, and while doing so stores shortest route data at each node. Once the algorithm has completed, a path is then be constructed by starting at the goal node and working backwards to the start node using the route data stored at each node. The algorithm operates iteratively and each algorithm iteration will explore (another common term encountered is expand) a single node. The node being explored is referred to as the present node for that iteration and its neighboring nodes are referred to as the node successors (or child nodes).

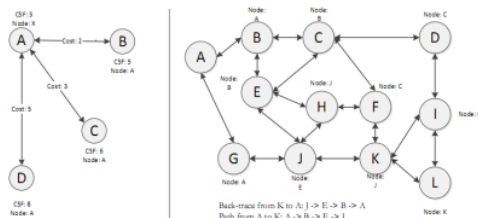


Figure 2. The Dijkstra's Algorithm's cost-so-far calculation and path generation. (Source: Angelov, 2011: 57)

D. The A Algorithm

Event though the point-to-point version of Dijkstra's algorithm is significantly more efficient for point-to-point searches than original algorithm, it is far from optimal with respect to search space exploration and processing costs. The A algorithm [2] was presented as an improvement to the point-to-point

Dijkstra's algorithm explores the graph search space. For clarity's sake all references to Dijkstra's algorithm will refer to the point-to-point version unless stated otherwise.

By selecting the closest node to explore, Dijkstra's algorithm explores outwards in all direction from the start node. Figure 3. Illustrated the search space exploration pattern of Dijkstra's algorithm. The undirected nature of the search pattern means that Dijkstra's algorithm will explore many unnecessary nodes in finding a solution. With only point-to-point searches in mind, if Dijkstra's algorithm's search can be directed to only explore nodes that have a high likelihood of leading to the goal, and to ignore nodes that are unlikely to lead to the goal, then the total search space exploration can be reduced resulting in decreased processing and memory costs.

The A algorithm [2] was represented in 1968 as a directed (best first) point-to-point version of Dijkstra's algorithm. Since then, the A* algorithm has become the benchmark for all point-to-point graph search algorithm, especially in the pathfinding field. The main difference between the A* algorithm and Dijkstra's algorithm is the augmentation of the CSF value with a heuristic value in the selection of the next node to explore. To stay in line with the literature, the CSF value will henceforth be referred to as the G value.

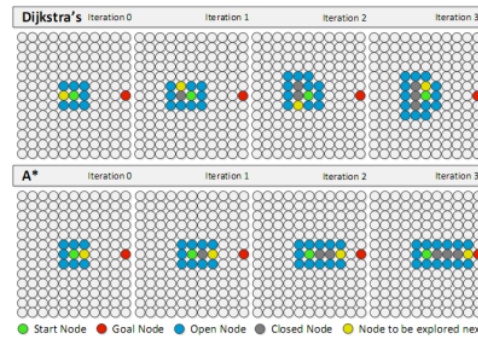


Figure 3. Comparison of search space exploration between Dijkstra's algorithm and A*.

Source: Angelov, 2011: 64

E. Lifelong Planning A (LPA)

Almost all continuous search algorithms that can operate within dynamic environments are built upon the D lite algorithm [3][4]. D lite is in turn an LPA variant that is simpler than and at least as efficient as the standard focused D algorithm. To discuss the D* lite algorithm, it is necessary to start with a discussion of the LPA algorithm [5] as the D lite algorithm is a modified, backwards version of LPA.

LPA is the combination of the incremental DynamicSWSF-FP algorithm and the heuristic-based algorithm. Fundamentally, LPA is an incremental version of the A algorithm that reuses information from previous searches across search iterations.

Per-node data value are roughly the same as for the A algorithm, namely a CSF G value and a heuristic H value with the additional of a new RHS value. The

RHS nomenclature originates from the DynamicSWSF-FP algorithm where RHS value were the right hand side (RHS) value of grammar rules.

The RHS values are the minimum next step CSF of a node, except for the special case when the node is the start node, in which case the RHS value for that node is set to 0. The calculation of a node N's RHS value is shown in Equation 2.1.

$$RHS(N) = \begin{cases} 0 \\ \min_{S \in succ(N)} (CSF(S) + traversalCost(S, N)) \end{cases}$$

Where node S is a successor of node N and succ(N) is the set of all successor of node N. CSF(N) is the cost-so-far value of node N while traversalCost(S, N) is the cost of moving from node S to node N. The literature for the LPA algorithm makes use of a node's predecessors for the RHS value calculation but in a standard navgraph (undirected) a node's successors are its predecessors as well, and so for simplicity's sake the mention of node predecessors is omitted.

F. Dynamic A Lite (D Lite)

To solve a pathfinding problem as the agent moves through the environment requires that the start node of the search problem changes over time. Unfortunately, the LPA algorithm estimates all G values as being from the start to the goal. As the agent moves from one node to another, this move invalidate all previous search data as the G values of each node need to be recalculated from the new start node. To do this would be the same as running a new search for each movement of the agent, making to simply using a discrete search algorithm for each replanning action.

The D algorithm is presented as a means to solve the real-time pathfinding problem (moving agent) in both partially unknown and dynamic environments. To maintain search information validity even across searches with varied start nodes, the D algorithm simply reverses the search direction of LPA (searches are now performed from the goal node to the start node) resulting in the per-node G values now representing the cost from the goal (CSG) values instead of CSF values. Paths are constructed forwards from the start node to the goal node by selecting the node with the lowest RHS as the next step.

Simply reversing the algorithm's search direction is not enough to ensure the optimality of the algorithm, as the heuristic values for each node in the graph will also be inaccurate as the agent's start node changes over the course of the agent's traversal. If the heuristic values change then the ordering of the open list of the D lite algorithm will be invalidated and so the open list will need to be reordered taking into account the heuristic values changes. D lite uses a method derived from the focused D algorithm to prevent open list ordering, by using node priorities that are lower bounds to those used in LPA. To remove the need for open list reordering, the heuristic function used must satisfy the following properties:

$$H(S, S') \leq traversalCost(S, S') \text{ and } H(S, S) \leq H(S, S') + H(S', S) \quad (2.2)$$

Where $H(S, S')$ is the heuristic value between node S and S' and $traversalCost(S, S')$ is the cost of moving from node S to S'. This means that the heuristic function must be an underestimation or exact estimation of the costs between two nodes.

Due to the properties shown in Figure 5, when the agent moves from a node S to a node S', the heuristic values will decrease by at most $H(S, S')$. this means that the F values in the open list will have also have decreased by at most $H(S, S')$.

III. METHODES AND DESIGNS

This research focuses on a predator movements using D Lite based on pathfinding algorithm for dynamic preys. It consist design agent, behavior agent, planning algorithm D Lite, and application of the algorithm to the agent. All, can be seen in figure 6.

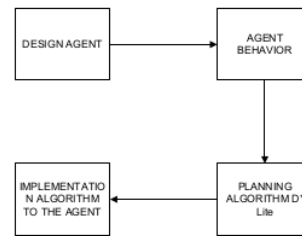


Figure 6. Block Diagram System.

A. Design Agent

Each agent has property speed, power, sensor and effectors. Here is a table of property owned by the agent of bees and predators.

Table 1. Property Agent

Property	Bee	Predator	Keterangan
Speed	High	Low	
Power	1	5	
Sensor	Barrier	Barrier	To detect the presence of the wall / obstacle
	Beacon	Beacon	To detect the presence of enemy
Effector	Direction	Direction	Determine the direction
	Speed	Speed	Determine the speed
Behaviour	Wander	Wander	Down the environment
	Track target	Track target	Looking for enemy
	Avoid barrier	Avoid barrier	Avoiding wall/obstacle
	Avoid beacon	Avoid beacon	Avoiding enemies

Each bee has a high speed when moving but low strength. Bees can only sting once and then die. While the predator has a low speed but the power of 5 times stronger than bees. So the need for bee stings 5 deadly predators.

Each agent has a sensor to detect the presence of a barrier wall and beacon sensors to detect the presence of nearby enemies. Each agent also has 4 behaviors, namely wander (behavioral wandering the neighborhood), tracks the target (search for enemies), avoid barrier (avoid the wall) and avoid beacons (avoiding enemies). The table below is a table agent behavior while living in the environment:

Table 2. Agent Behavior

Type	Strength	Speed	Activity
Scout	2	3	Patrol looking for the presence of predators
Onlooker	1	2	Menunggu di sarang apabila terjadi serangan predator
Employed	1	2	Combat forces crush the enemy
Predator	5	1	Character enemies that try to come bee hive in search of food.

B. Agent Behavior

Predators roam throughout the environment to find the bees. Here is a flowchart of predatory behavior. Flowchart agent behavior can be seen in figure 7.

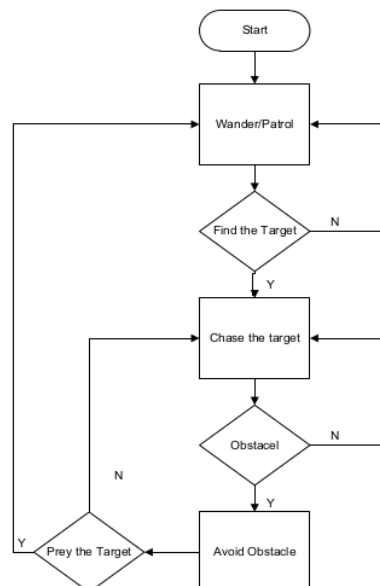


Figure 7. Flowchart Agent Behavior

IV. EKSPERIMENTS

A. Pathfinding in Dynamic Environments

Video games featuring dynamic environment are becoming ever more popular. In these dynamic environments, players have a high degree of interaction with the environment allowing players to drastically change the game environment through their actions.

Due to various player actions and the high level of destructibility offered by the game, the game environment has been greatly changed to the point of being near unrecognizable. Areas that were previously traversable are now obstructed and vice versa, as such environmental changes add a high level of complexity to the pathfinding problem. Pathfinding in dynamic environments can be seen in figure 8 and 9.



Figure 8. The initial state of the game environment



Figure 9. The same game environment after a lengthy in-game battle

B. Pathfinding for Dynamic Preys

Pathfinding for dynamic preys in video game, can be simulated a agent chasing prey that move from one place to another. This result can be seen in Figure 10 and 11.



Figure 10. Predator chase the static preys

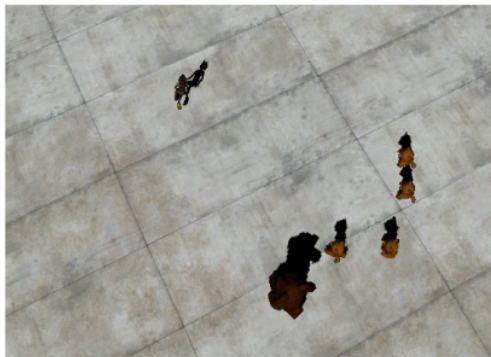


Figure 11. Predator chase the dynamic preys

V. CONCLUSIONS

Simulation of the predator movement using D Lite based pathfinding algorithm for dynamic preys is made through Unity3D with a combination of Locomotion. From the result conducted so that an agent can be generated in a game can solve the problem of realtime pathfinding search for a prey/prey moving/dynamic pathfinding algorithm by applying the method of using D* Lite.

REFERENCES

- [1] E. W. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs," *Numerische Mathematik*, vol. 1, pp.267-271, 1959.
- [2] P. Hart, N. Nilsson and B. Raphael, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths," *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4*, vol.4, no. 54, p. 100-107, 1968.
- [3] M. Likhachev, D. Ferguson, G. Gordon, A. Stentz and S. Thurn, "Anytime dynamic A*: An anytime, replanning algorithm," in *Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS)*, 2005.
- [4] R. Korf, "Real-Time Heuristic Search," *Artificial Intelligence*, vol. 42, pp. 189-211, 1990.

- [5] N. R. Sturtevant, A. Felner, M. Barrer, J. Schaeffer and N. Burch, "Memory-Based Heuristics for Explicit State Spaces," in *Proceedings of the Twenty-First international Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-77)*, 2009.
- [6] Stentz, A., "Optimal and Efficient Path Planning for Unknown and Dynamic Environments,"Carnegie Mellon Robotics Institute Technical Report CMU-RI TR-93-20, August, 1993.
- [7] Nilsson, N. J., "Principles of Artificial Intelligence", Tioga Publishing Company, 1980.
- [8] Korf, R. E., "Real-Time Heuristic Search: First Results,"Proc. Sixth National Conference on Artificial Intelligence, July, 1987.
- [9] Lumelsky, V. J., Mukhopadhyay, S., Sun, K., "Dynamic Path Planning in Sensor-Based Terrain Acquisition", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 6, No. 4, August, 1990.
- [10] Rao, N.S.V., Stoltzfus, N., Iyengar, S. S., "A 'Retraction' Method for Learned Navigation in Unknown Terrains for a Circular Robot," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 62 No. 5, October, 1991.
- [11] Pirzadeh, A., Snyder, W., "A Unified Solution to Coverage and Search in Explored and Unexplored Terrains Using Indirect Control", *Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May, 1990.

GRATITUDE

We would like to express our gratitude to all that described bellow who have given us the invaluable supports and participants.

Rector of Brawijaya University
 Dean of Engineering Faculty Brawijaya University
 IEEE Indonesia Section
 Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM), Johor, Malaysia
 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI, Indonesian Institute of Sciences), Bandung
 California State Polytechnic (Cal Poly) University, United State America
 University of Miyazaki (UoM), Japan
 University of Western of England (UWE), UK
 Manipal University, Jaipur
 National Nuclear Energy Agency, Center of Sains and Accelerator Technology, Yogyakarta
 68 Electrical Eng. And Information Tech.Dept., UGM, Yogyakarta, Indonesia
 Wireless and Radio Science Centre (WARAS), Faculty of Electrical and Electronic Engineering,
 Research Center for Applied Electromagnetics, UTHM, Batu Pahat, Malaysia
 Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering, UTHM, Batu Pahat, Malaysia
 School of Electrical Engineering and Informatics, Insitut Teknologi Bandung
 Faculty of Electrical & Electronic Engineering, UTHM, Johor, Malaysia
 Computer Engineering, Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya
 Electrical Engineering Department, Indonesia University, Depok, Indonesia
 Satellite Technology Center, Indonesian National Institute of Aeronautics and Space, Bogor,Indonesia
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia
 Faculty of Electrical and Electronic Engineering (FKEE), UTHM, Batu Pahat, Johor, Malaysia
 Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University,Malang,Indonesia
 Central Remote Sensing, Chiba University, Chiba, Japan
 Mathematics Department, Faculty of Mathematics and Science, State University of Malang, Indonesia
 Dept of Electronic and Computer Engineering, Satya Wacana Christian University, Salatiga, Indonesia
 Electrical Engineering Faculty, Tarumanagara University, DKI Jakarta, Indonesia
 Indonesia Illuminating Engineering Society, DKI Jakarta, Indonesia
 Telecommunication Engineering Dept,Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom, Purwokerto,Indonesia
 Electrical Department, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia
 Department of Electrical Engineering, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Indonesia
 146 Statistics Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
 Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia
 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
 Politeknik Negeri Ambon, Politeknik Negeri Kupang, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
 Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
 Jurusan Teknik Elektro USM, USM, Semarang
 Product Quality Engineering Division, PT. Astra Honda Motor, Jakarta
 Jurusan Teknik Elektromedik, Politeknik Kesehatan, Surabaya
 Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang
 Bidang Keahlian Teknik Elektronika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Sidoarjo
 Teknik Elektro, Universitas Semarang, Semarang
 Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam
 Program Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Depok
 Laboratorium Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro UIN SUSKA Riau, Pekanbaru
 Pusat Sains Antariksa LAPAN, Politeknik Negeri Malang, Malang
 Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang
 Electrical Engineering Mataram University, Mataram
 Medical Faculty Department Mataram University, Mataram
 Math Education and Natural Science, IKIP Mataram, Mataram
 Program Studi Teknik Informatika, Universitas Trunojoyo Madura, Bangkalan
 Faculty of Industrial Technology, Institute Technology Of Sepuluh Nopember, Surabaya
 Electrical Department Universitas Islam Negeri (UIN), Malang, Indonesia
 PT.Astra Honda Motor, Jakarta
 PT.Elka Daya, Jakarta
 PT.Buana Prima Raya, Jakarta
 PT Rumpun Wahana Karya, Malang

Analisis Penjadwalan Perawatan Transformator Daya

ORIGINALITY REPORT

11

%

SIMILARITY INDEX

%

INTERNET SOURCES

%

PUBLICATIONS

11

%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

Submitted to La Salle Green Hills

Student Paper

2%

2

Submitted to Universitas Brawijaya

Student Paper

1%

3

Submitted to Universitas Muhammadiyah
Sidoarjo

Student Paper

1%

4

Submitted to STIE Perbanas Surabaya

Student Paper

<1%

5

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

<1%

6

Submitted to Syiah Kuala University

Student Paper

<1%

7

Submitted to Politeknik Negeri Bandung

Student Paper

<1%

8

Submitted to University of Leeds

Student Paper

<1%

9

Submitted to Universiti Malaysia Pahang

Student Paper

<1%

10

Submitted to iGroup

Student Paper

<1 %

11

Submitted to Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Student Paper

<1 %

12

Submitted to Universitas Muria Kudus

Student Paper

<1 %

13

Submitted to Higher Education Commission
Pakistan

Student Paper

<1 %

14

Submitted to Curtin University of Technology

Student Paper

<1 %

15

Submitted to Sogang University

Student Paper

<1 %

16

Submitted to Universitas Siliwangi

Student Paper

<1 %

17

Submitted to Staffordshire University

Student Paper

<1 %

18

Submitted to University of Birmingham

Student Paper

<1 %

19

Submitted to UIN Sultan Syarif Kasim Riau

Student Paper

<1 %

20

Submitted to Universitas Diponegoro

Student Paper

<1 %

21	Submitted to University of Sydney Student Paper	<1 %
22	Submitted to University of Oklahoma Student Paper	<1 %
23	Submitted to President University Student Paper	<1 %
24	Submitted to Universitas Sebelas Maret Student Paper	<1 %
25	Submitted to University of Bradford Student Paper	<1 %
26	Submitted to Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi Universitas Trisakti Student Paper	<1 %
27	Submitted to University of Newcastle upon Tyne Student Paper	<1 %
28	Submitted to Universitas Airlangga Student Paper	<1 %
29	Submitted to National Institute of Technology Karnataka Surathkal Student Paper	<1 %
30	Submitted to Academic Library Consortium Student Paper	<1 %
31	Submitted to VIT University Student Paper	<1 %

32	Submitted to Universitas Bina Darma Student Paper	<1 %
33	Submitted to Vel Tech University Student Paper	<1 %
34	Submitted to Texas A&M University, College Station Student Paper	<1 %
35	Submitted to Queen Mary and Westfield College Student Paper	<1 %
36	Submitted to University of Bristol Student Paper	<1 %
37	Submitted to Asian Institute of Technology Student Paper	<1 %
38	Submitted to University of Wales Institute, Cardiff Student Paper	<1 %
39	Submitted to Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya Student Paper	<1 %
40	Submitted to Universitas Negeri Semarang Student Paper	<1 %
41	Submitted to Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia Student Paper	<1 %

42	Submitted to University of Southampton Student Paper	<1 %
43	Submitted to Cranfield University Student Paper	<1 %
44	Submitted to SDM Universitas Gadjah Mada Student Paper	<1 %
45	Submitted to University of New South Wales Student Paper	<1 %
46	Submitted to The University of Manchester Student Paper	<1 %
47	Submitted to Universiti Kebangsaan Malaysia Student Paper	<1 %
48	Submitted to Leeds Metropolitan University Student Paper	<1 %
49	Submitted to Universitas Mataram Student Paper	<1 %
50	Submitted to University of Northumbria at Newcastle Student Paper	<1 %
51	Submitted to State Islamic University of Alauddin Makassar Student Paper	<1 %
52	Submitted to University of Glamorgan Student Paper	<1 %

53	Submitted to Glyndwr University Student Paper	<1 %
54	Submitted to RMIT University Student Paper	<1 %
55	Submitted to Universitas Andalas Student Paper	<1 %
56	Submitted to Universitas Islam Lamongan Student Paper	<1 %
57	Submitted to University of Malaya Student Paper	<1 %
58	Submitted to American School of Madrid Student Paper	<1 %
59	Submitted to UIN Syarif Hidayatullah Jakarta Student Paper	<1 %
60	Submitted to University of Hong Kong Student Paper	<1 %
61	Submitted to Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya Student Paper	<1 %
62	Submitted to ABV-Indian Institute of Information Technology and Management Gwalior Student Paper	<1 %
63	Submitted to Coventry University Student Paper	<1 %

64	Submitted to CSU, Fullerton Student Paper	<1 %
65	Submitted to Indian Institute of Technology-Bhubaneswar Student Paper	<1 %
66	Submitted to Universitas Negeri Jakarta Student Paper	<1 %
67	Submitted to University of Nottingham Student Paper	<1 %
68	Submitted to Universiti Teknikal Malaysia Melaka Student Paper	<1 %
69	Submitted to University of North Texas Student Paper	<1 %
70	Submitted to Arab Academy for Science & Technology and Maritime Transport Student Paper	<1 %
71	Submitted to University of Johannesburg Student Paper	<1 %
72	Submitted to Asia Pacific University College of Technology and Innovation (UCTI) Student Paper	<1 %
73	Submitted to Rajarambapu Institute of Technology Student Paper	<1 %

74	Submitted to STIKOM Surabaya Student Paper	<1 %
75	Submitted to Scotch Plains-Fanwood High School Student Paper	<1 %
76	Submitted to Thames Valley University Student Paper	<1 %
77	Submitted to University of Brighton Student Paper	<1 %
78	Submitted to University of Greenwich Student Paper	<1 %
79	Submitted to Charotar University of Science And Technology Student Paper	<1 %
80	Submitted to Indian Institute of Technology, Madras Student Paper	<1 %
81	Submitted to Laureate Higher Education Group Student Paper	<1 %
82	Submitted to Queensland University of Technology Student Paper	<1 %
83	Submitted to University of Durham Student Paper	<1 %

84	Submitted to Victoria University Student Paper	<1 %
85	Submitted to Alliance University Student Paper	<1 %
86	Submitted to Politeknik Negeri Jember Student Paper	<1 %
87	Submitted to University of Strathclyde Student Paper	<1 %
88	Submitted to Northeast Iowa Community College Student Paper	<1 %
89	Submitted to Universidad Europea de Madrid Student Paper	<1 %
90	Submitted to Universiti Teknologi Malaysia Student Paper	<1 %
91	Submitted to LL Dikti IX Turnitin Consortium Student Paper	<1 %
92	Submitted to University of Lincoln Student Paper	<1 %
93	Submitted to University of Northern Iowa Student Paper	<1 %
94	Submitted to Bülent Ecevit Üniversitesi Student Paper	<1 %
95	Submitted to Mahidol University	

<1 %

96

Submitted to Middle East Technical University

Student Paper

<1 %

97

Submitted to School of Business and
Management ITB

Student Paper

<1 %

98

Submitted to University of Alabama

Student Paper

<1 %

99

Submitted to University of Sheffield

Student Paper

<1 %

100

Submitted to Universitas Mercu Buana

Student Paper

<1 %

101

Submitted to Universitas Semarang

Student Paper

<1 %

102

Submitted to University of Detroit - Mercy

Student Paper

<1 %

103

Submitted to University of Essex

Student Paper

<1 %

104

Submitted to University of Paisley

Student Paper

<1 %

105

Submitted to University of Sunderland

Student Paper

<1 %

106	Submitted to Chester College of Higher Education Student Paper	<1 %
107	Submitted to Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Student Paper	<1 %
108	Submitted to Astana IT University Student Paper	<1 %
109	Submitted to Brigham Young University Student Paper	<1 %
110	Submitted to Canada College Student Paper	<1 %
111	Submitted to Indian Institute of Technology Jodhpur Student Paper	<1 %
112	Submitted to Purdue University Student Paper	<1 %
113	Submitted to The University of the South Pacific Student Paper	<1 %
114	Submitted to Universitas Dian Nuswantoro Student Paper	<1 %
115	Submitted to University of London External System Student Paper	<1 %

116	Submitted to University of the West Indies Student Paper	<1 %
117	Submitted to Wageningen University Student Paper	<1 %
118	Submitted to Universitas Jember Student Paper	<1 %
119	Submitted to University of Bath Student Paper	<1 %
120	Submitted to uvt Student Paper	<1 %
121	Submitted to 9561 Student Paper	<1 %
122	Submitted to Heriot-Watt University Student Paper	<1 %
123	Submitted to Imperial College of Science, Technology and Medicine Student Paper	<1 %
124	Submitted to Loughborough College Student Paper	<1 %
125	Submitted to Oxford Brookes University Student Paper	<1 %
126	Submitted to UNITEC Institute of Technology Student Paper	<1 %

127	Submitted to Universitas Atma Jaya Yogyakarta Student Paper	<1 %
128	Submitted to University at Buffalo, SUNY Student Paper	<1 %
129	Submitted to University of Applied Sciences Kaiserslautern Student Paper	<1 %
130	Submitted to University of Cape Town Student Paper	<1 %
131	Submitted to University of Liverpool Student Paper	<1 %
132	Submitted to University of South Australia Student Paper	<1 %
133	Submitted to University of Surrey Student Paper	<1 %
134	Submitted to Birkbeck College Student Paper	<1 %
135	Submitted to Colorado Technical University Online Student Paper	<1 %
136	Submitted to Genesis Global School Student Paper	<1 %
137	Submitted to Glasgow Caledonian University Student Paper	<1 %

138

Submitted to Kingston University

Student Paper

<1 %

139

Submitted to Marquette University

Student Paper

<1 %

140

Submitted to Murdoch University

Student Paper

<1 %

141

Submitted to National University of Singapore

Student Paper

<1 %

142

Submitted to SAE Institute

Student Paper

<1 %

143

Submitted to South Bank University

Student Paper

<1 %

144

Submitted to Sultan Agung Islamic University

Student Paper

<1 %

145

Submitted to Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta

Student Paper

<1 %

146

Submitted to Universiti Malaysia Perlis

Student Paper

<1 %

147

Submitted to University of Bedfordshire

Student Paper

<1 %

148

Submitted to Monash University

Student Paper

<1 %

149

Submitted to Pembroke

Student Paper

<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off